

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

2016

Ville Pessala

KALLIOLOUHINNAN TUNNUSLUKUJEN ANALYSOINTI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Pessala

KALLIOLOUHINNAN TUNNUSLUKUJEN ANALYSOINTI

Opinnäytetyö tehtiin Destia Oy:n kallioyksikön tarjouslaskentaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa avolouhinnassa esiintyville keskeisille käsitteille, ominaisporaukselle, -panostukselle ja -rikotukselle tunnusluvut rullaustie AM-AH:n louhintaurakasta. Tunnuslukujen muodostamisen lisäksi tavoitteena oli analysoida ja vertailla tunnuslukujen kehitystä aina tarjouslaskentavaiheesta urakan valmistumiseen saakka.

Opinnäytetyössä tunnuslukuja tarkasteltiin eri avolouhintamenetelmien ja niiden sisältämien tekijöiden kautta. Tunnuslukujen tulkinnan taustalla on tärkeää ymmärtää, miten nämä eri tekijät ovat vuorovaikutuksissa toisiinsa ja miten ne osaltaan vaikuttivat työssä käsiteltävän louhintaurakan lukuihin.

Louhintaurakan rullaustie AM-AH lopullisiksi tunnusluvuiksi muodostui kahden tunnusluvun kohdalla parempi arvo kuin mitä laskennassa oli määritetty, poikkeuksena oli ominaispanostus. Ominaispanostus kasvoi laskennan määrittämästä arvosta, mutta vaikutusta kompensoivat ominaisporauksen ja -rikotuksen alhaiset tunnusluvut. Syitä ominaispanostuksen kasvulle osoittautui useampia.

Opinnäytetyössä suoritetusta analysoinnista ja vertailusta kävi ilmi, että laskenta- sekä tuotantovaihe olivat onnistuneet kokonaisuudessaan hyvin. Tunnuslukujen lopullisten arvojen muodostamisen ohella selvisi laskenta- ja toteutusorganisaation toimintatavoissa eroavaisuuksia. Laskennassa laadittuja resursseja ei pystytty nykyisillä menetelmillä vielä tuotantovaiheessa seuraamaan yhtä tarkasti. Toimintaa tulisi yhdenmukaistaa, jotta seuranta voitaisiin jatkossa kohdistaa suoraan eri louhintamenetelmiin ja saataisiin yksityiskohtaisempaa tietoa toteutuneista urakoista.

ASIASANAT:

tunnusluku, ominaisporaus, ominaispanostus, ominaisrikotus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Community Infrastructure Engineering

August 2016 | Total number of pages 49 + 3

Instructors: Pirjo Oksanen M.Sc. (Eng.), Agim Kurteshi M.Sc. (Eng.)

Ville Pessala

ANALYSING THE STRIP MINING CHARACTERISTICS

The client for this Bachelor's thesis was a Finnish construction company Destia Ltd. The thesis was conducted for their rock engineering department. The aim of this study was to formulate characteristics for drilling, blasting and rock breaking from the strip mining contract, rullaustie AM-AH. In addition, the aim was to analyze and compare the development of these characteristics from the beginning of the tender phase till the end of the project.

This Bachelor's thesis examines the characteristics by considering all the different strip mining methods and their factors. It is extremely important to understand how these factors affect each other and the strip mining figures of this study.

Except for the values of the blasting the definitive characteristics for this strip mining contract, rullaustie AM-AH, were better than the tender phase estimated. The values of the blasting figures increased from the starting point, but they were compensated by the low values of drilling and rock breaking. It turned out that there is more than one reason for the high value of blasting.

The completed analysis and comparison gave positive results in this Bachelor's thesis. The tender phase and the production phase were both successful. However, the formation of the final characteristics revealed that there were differences on how the two project groups worked. In the production phase they could not monitor with the current methods the exact same resources that the tender phase compiled. Both of their operational ways should be standardized in order to monitor the same resources in the future. With a more consistent system these two groups can share more specific information about the resources and they can direct the resources directly under the different strip mining methods, and thereby collect more information from the mining contract.

KEYWORDS:

characteristic, drilling, blasting, rock breaking

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 AVOLOUHINTA	8
2.1 Yleistä	8
2.2 Avolouhintamenetelmät	10
2.2.1 Pengerlouhinta	10
2.2.2 Kanaalilouhinta	12
2.2.3 Tarkkuuslouhinta	13
2.3 Avolouhintaporaus	15
2.3.1 Poraustekniikka	15
2.3.2 Porauskalusto ja sen valintaan vaikuttavat tekijät	18
2.4 Avolouhintaräjäytys	21
3 TARKASTELTAVAT TUNNUSLUVUT	26
3.1 Ominaisporaus	26
3.2 Ominaispanostus	27
3.3 Ominaisrikotus	29
4 HELSINKI-VANTAAN LENTOASEMAN LAAJENNUSURAKKA VLK	31
4.1 Hankkeen esittely	31
4.2 Asematason rullaustie AM-AH	32
4.3 Käytössä olevat laskenta- ja seurantaohjelmat	34
4.3.1 MAP	34
4.3.2 Blastec	35
4.3.3 Excel-laskenta ja taulukot	35
4.4 Laskentavaiheen tunnusluvut	36
4.5 Tuotantovaiheen tunnusluvut	38
5 TUNNUSLUKUJEN ANALYSOINTI	41
5.1 Huomioitavat poikkeamat	41
5.2 Analysointi ja vertailu	41
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	47
LÄHTEET	50

LIITTEET

- Liite 1. Rullaustien AM-AH louhintasuunnitelma
- Liite 2. Ote rullaustie AM-AH louhintaurakan MAP-laskelmasta
- Liite 3. Rullaustie AM-AH louhintatyömaan ID-kortti

KUVAT

Kuva 1. Pengerlouhinnan käsitteet.	10
Kuva 2. Kiinteä pohja.	11
Kuva 3. Avoin pohja.	11
Kuva 4. Nasta- ja kokopalaterä.	16
Kuva 5. Porareiän, pengerkorkeuden ja louheen lohkokoon välinen riippuvuus.	19
Kuva 6. Kevyt porausvaunu.	20
Kuva 7. Keskiraskas porausvaunu.	21
Kuva 8. Raskas porausvaunu.	21
Kuva 9. Maanrakennusurakan alueet ilman sisäisiä lohkojakoja.	32

KUVIOT

Kuvio 1. Avolouhinnan työvaiheet.	9
Kuvio 2. Porausreiän laajeneminen ajan funktiona.	22
Kuvio 3. Lohkokokoon vaikuttavat tekijät.	23
Kuvio 4. Rullaustie AM-AH louhintaosuudet.	34

TAULUKOT

Taulukko 1. Kentän painopisteen siirtymä ylipanostuksen funktiona.	25
Taulukko 2. Laskentavaiheen tunnusluvut.	38
Taulukko 3. Tuotantovaiheen tunnusluvut.	40
Taulukko 4. Tunnuslukujen vertailu laskennan ja tuotannon välillä.	43
Taulukko 5. Louhintaosuuksien erot laskennan ja tuotannon välillä.	46

1 JOHDANTO

Kilpailu louhintaurakoista eri rakennusliikkeiden välillä on ollut kovaa. Tarjouskilpailussa erot saattavat jäädä hyvin minimaalisiksi, jolloin pienilläkin yksittäisillä tekijöillä voi olla merkitystä siinä, voittaako tarjoava rakennusliike louhintaurakan vai ei. Kalliorakentamisen sektorilla louhintateknisiä toteutusmenetelmiä ja käytettäviä materiaaleja pyritään jatkuvasti kehittämään, jotta toiminta saataisiin entistään kustannustehokkaammaksi. Kustannustehokkuutta tarkkaillaan louhintaurakan eri vaiheissa aina tarjouslaskentavaiheesta sen valmistumiseen asti. Tarkkailu kohdistuu erityisesti louhinnan kannalta kriittisimpiin tekijöihin, jotka aiheuttavat suurimmat kustannusriskit. Nämä tekijät voivat vaihdella louhintakohdekohtaisesti, mutta valtaosa kustannusriskeistä kohdistuu irrotuskaasiteettiin, vallitsevaan ympäristöön ja poraus- ja panostussuunnitelmissa käytettyihin arvoihin. (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016.)

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena muodostaa rullaustie AM-AH louhintaurakan toteutuneiden kuutioiden pohjalta tunnusluvut ominaisporaukselle, -panostukselle ja -rikotukselle sekä analysoida laskenta- ja tuotantovaiheen tunnuslukujen eroja. Opinnäytetyössä tutkitaan, miten ja mistä nämä tunnusluvut muodostuvat ja mitkä eri tekijät niihin vaikuttavat. Muodostetuille tunnusluville suoritetaan analysointia tarjouslaskentavaiheesta aina tuotantovaiheeseen, ja pyritään löytämään syitä ilmenneille poikkeamille. Syventymällä teoriaan ja työmaan toteumatietoihin sekä haastattelemalla avainhenkilöitä, varmistetaan mahdollisimman kattava tarkastelu muodostettaville tunnusluville.

Työssä on aihetta rajattu siten, että siinä on jätetty tarinävaikutusten käsittely pois. Muu työn sisältö pyrkii keskittymään pääasiassa tekijöihin ja menetelmiin, jotka esiintyvät rullaustie AM-AH louhintaurakassa.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on suomalainen infra- ja rakennusalan palveluyhtiö Destia Oy. Destia siirtyi vuoden 2014 kesällä valtion omistuksesta yksityiselle sektorille, Ahlström Capitalin omistukseen. Destian toiminta jakautuu nykyään neljään alueelliseen ja yhteen valtakunnalliseen tulosityksikköön. Alueellisten tulosityksiköiden liiketoimintaan kuuluu monipuoliset eri infrarakentamisen palvelut aina toteutuksesta ylläpitoon. Valtakunnallisiin palveluihin kuuluu mm. suunnittelu, tiestöpalvelut ja kansainvälinen konsultointi. Tämä työ suoritetaan Destian kallioyksikön tarjouslaskentaan, joka kuuluu osaksi Etelä-Suomen tulosityksikköä. (Destia Oy 2016.)

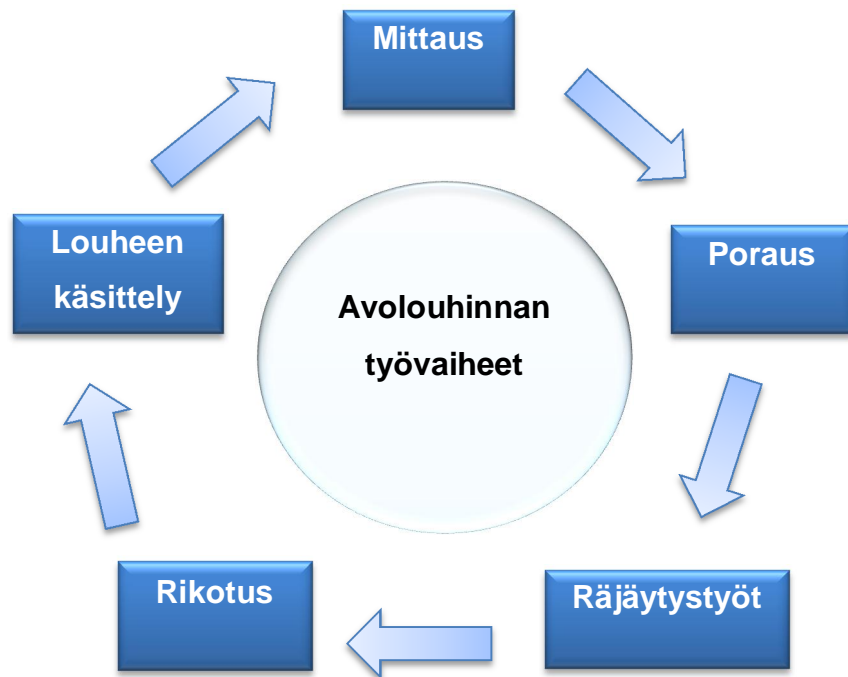
2 AVOLOUHINTA

2.1 Yleistä

Louhinta jakautuu Suomessa pääosin kolmeen eri kategoriaan: avolouhintaan, maanalaiseen louhintaan ja vedenalaiseen louhintaan. Näistä kolmesta avolouhinta on yleisimmin käytettävä työtapa. Se käsittää kaiken louhinnan joka tapahtuu maanpinnalla avoimen taivaan alla. Maanalaiseen louhintaan kuuluu puolestaan tunnelit sekä kalliotilat, ja vedenalaiseen louhintaan kuluu nimensä mukaisesti erilaiset louhintatyöt veden alla. (Vuolio & Halonen 2012.)

Avolouhinnan merkitys on ollut jo pitkään tärkeä rakennus- ja kaivosteollisuudessa. Se on edesauttanut kiven nopean irrottamisen pois muiden tulevien rakenteiden tieltä ja täten mahdollistanut rakentamisen kohteisiin, joihin se ei aikaisemmin olisi ollut mahdollista. Avolouhinnan ansiosta saadaan infratyömailta jatkuvasti kiviainesta kattamaan rakennustuotannon tarpeita, ja louhoksilla menetelmä on mahdollistanut malmi- sekä käyttökiven massalouhinnan ja tarvekiven louhinnan. Jatkuva louhinnan tarve ilmenee niin kauan kuin rakentamista tapahtuu. Tällä hetkellä rakentamisessa ja rakenteiden ylläpidossa vaaditaan noin 100 miljoonaa tonnia kiviainesta vuodessa, ja tästä 70 miljoonaa tonnia on jalostettuja kiviaineksia. (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Konserni 54/2015.)

Avolouhinnan työvaiheet ovat yleisesti ottaen samoja riippumatta kohteesta (kuvio 1). Erityyppisiä avolouhintamenetelmiä on sen sijaan useampia. Näistä esimerkiksi pengerylouhinta on tavanomaisimmin käytettävä louhintamenetelmä. (Siren 2015.)



Kuvio 1. Avolouhinnan työvaiheet (Siren 2015).

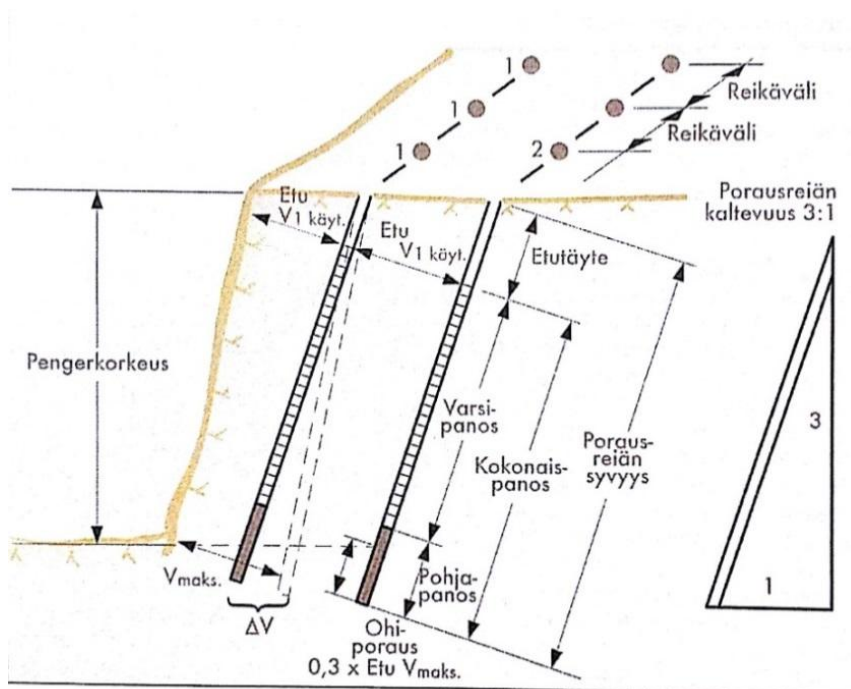
Kuviossa 1 esiintyvät kohdat ovat tyypillisimmät työvaiheet avolouhinnassa. On kuitenkin syytä huomioida eri työvaiheiden sisältämät työt tarkemmin aina tapauskohtaisesti jokaisessa louhintakohteessa. Vaativat olosuhteet ja ylimääräiset työvaiheet lisäävät välittömästi kustannuksia sekä aikaa louhintatöille. (Siren 2015.)

Vaikka avolouhinta on yleisesti ottaen muuta louhintaa halvempaa, niin on työvaiheilla ja niiden sovituksella ratkaiseva merkitys kustannustehokkuutta mietittäessä. Louhittaessa on tärkeää, että louhittavat kentät saadaan mahdollisimman isoissa ja samanaikaisissa erissä ammuttua irti. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista vallitsevan ympäristön, louhintatoleranssien tai muiden tekijöiden sitä rajoittaessa. Kustannuksia mitoittaessa on myös tärkeää huomioida kiven laadun lisäksi tarkkuus-, neliö- ja kuutiolouhinnan osuus. (O. Vaaramaa, henkilökohtainen tiedonanto 21.4.2016.)

2.2 Avolouhintamenetelmät

2.2.1 Pengerlouhinta

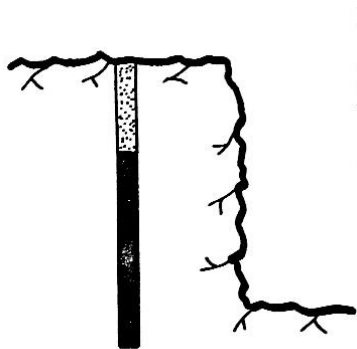
Pengerlouhinta on avolouhintamenetelmistä tavanomaisin kallion räjäytysmenetelmä (kuva 1). Jos avolouhinta ei suoraan ole sitä, on se usein jokin variaatio siitä. Itse pengerlouhinta voidaan jakaa kahteen eri pääasialliseen menetelmään: normaaliin pengerlouhintaan (kuutiolouhinta) ja tasauslouhintaan (neliölouhinta). (Vuolio & Halonen 2012, 125.)



Kuva 1. Pengerlouhinnan käsitteet (Vuolio & Halonen 2012, kuva 4.05).

Normaalissa pengerlouhinnassa rintausten korkeus on yli kaksi kertaa maksimiedun verran, ja se tarvitsee purkautuakseen vähintään kaksi vapaata suuntaa. Räjäytettävän penkereen pituus on tässä menetelmässä pienempi kuin sen leveys, muodostaen lyhyen mutta leveän liuskan. (Vuolio & Halonen 2012, 125–142.)

Menetelmässä porataan panostettavat reiät joko vaakaporauksella, pystyporauksella tai näiden kahden variaatiolla. Pääsääntöisesti porataan kuitenkin pystysuuntaisia hieman kallistettuja reikiä. Sopivalla kallistuksella saadaan purettua reiän painetta pohjalla, ja näin ollen räjähdysaineen iskuaaltoenergia tehoaa paremmin kallioon. Reikien kallistus parantaa kiven irtoamiskulmaa, vähentää ominaisporausta, ryöstöä ja kiven heiton riskiä. Niitä porataan kenttään riveittäin yksi tai useampia, ja rivit suunnataan aina vapaata tilaa kohden. Reiät porataan joko niin, että niiden pohja on kiinteä (kuva 2), tai siten, että pohja on avoin (kuva 3). Saatua porareivät porattua, panostetaan ne pohja- ja varsipanoksella sekä lopuksi lisätään etutäyte. Penger ammutaan useimmiten moniriviräjäytyksellä alkaen uloimmasta rivistä ja jatkuen aina sisimmäisimpään riviin asti. Rivien välinen ajastus tulee olla oikea-aikainen ja tarkkaan suunniteltu, jotta kivellä on tarpeeksi aikaa irrota ja siirtyä. Jos ajastus jää liian lyhyeksi, seurauksena on, ettei kallio irtoa pohjalta kunnolla ja reikien suulta sinkoilee kiviä ympäriinsä. Ajastuksen mennessä taas liian pitkäksi heiton todennäköisyys kasvaa, koska ensimmäiset rivit eivät muodosta tarvittavaa suojapeitettä heitolle. (Vuolio & Halonen 2012, 125–142.)



Kuva 2. Kiinteä pohja
(Olofsson 1997, kuva 5.2).



Kuva 3. Avoin pohja
(Olofsson 1997, kuva 5.3).

Tasauslouhinta, toiselta nimeltään neliölouhinta, eroaa normaalista pengerlouhinnasta siinä, että pengerkorkeus on pienempi kuin kaksi kertaa maksimietu. Kun pengerkorkeus on matala, vaatii kenttä tiheämpää poraamista kuin normaalissa pengerlouhinnassa ja porareivät tulee porata 3:1 kaltevuuteen. Porareivät ovat myös halkaisijaltaan pienempiä kuin normaalissa pengerlouhinnassa.

sa. Jos louhintakohde sen mahdollistaa, on kannattavampaa suorittaa enemmän ohiporausta ja kasvattaa etua sekä reikäväliä. Tällöin voidaan ampua isompi kenttä kerralla, ja samalla porauskustannukset laskevat. Tämä vaatii sen, että louhinnan laatu- ja tarkkuustekijät eivät tule esteeksi. Näiden edellä mainittujen lisäksi tasauslouhinta vaatii myös tarkkaa ajastusta sytytyksessä, koska kentän etu jää niin pieneksi. Kentän edun kapeuden takia kallion on helpompi purkautua nopeasti ja aiheuttaa vaarallista heittoa. Siksi usein tasauslouhinnassa onkin tarpeen peittää kenttä huolellisesti. (Vuoli & Halonen 2012, 155.)

2.2.2 Kanaalilouhinta

Kanaalilouhinta on hyvin yleisesti käytetty menetelmä. Louhintatapa muistuttaa pengerlouhintaa, mutta eroja näiden kahden välillä on monia. Siinä esimerkiksi louhittavat kentät ovat usein varsin kapeita ja syviä sekä irrotussuuntia pengerlouhintaan verrattuna on vähemmän. Kanaalilouhintaa esiintyy paljon kaupunkiympäristössä, ja tyypillisimpiä käyttökohteita ovat viemäreiden, putkien ja joh-tojen kaivannot. (Olofsson 1997, 122.)

Yleisen nyrkkisäännön mukaan jos räjäytettävän kentän leveys on alle 4 metriä, luokitellaan se kanaalilouhinnaksi. Kentän kapeuden ja syvyyden takia kallion irtoamisvastus on varsin suuri, ja se vaatii usein korkeampaa ominaisporausta ja ominaispanostusta. Siksi on myös tärkeää, että reikien kallistus on 3:1. Kallistamalla reikiä saadaan vähennettyä jännitystä reikien pohjalla, jolloin kallion irti leikkautuminen ja paisuminen helpottuvat. (Vuolio & Halonen 2012, 155.)

Kanaalilouhinta voidaan jakaa kahteen eri irrotustapaan: tavanomaiseen ja varovaiseen. Tavanomaisessa menetelmässä keskireiät ovat purkautumissuuntaansa nähden reunareikien edessä ja kaikki reiät panostetaan samalla periaatteella. Tällä panostustavalla tärinät jäävät pienemmiksi, mutta ryöstö voi kasvaa jopa 100 prosenttia. (Vuolio & Halonen 2012, 155–156.)

Varovaisessa menetelmässä kaikki reiät ovat riveittäin samassa linjassa. Reiki-en panostuksen osalta keskimmaisissa rei'issä nostetaan panostusastetta ja reunimmaisissa vuorostaan vähennetään. Tämä nostaa tärinäarvoja ja kasvat-taa tärinävaikutusaluetta. Näillä muutoksilla saavutetaan kuitenkin suuremmat uloslyöntikulmat reunarei'ille, kallion irtoamisvastuksen pieneneminen ja ryös-tön väheneminen. Reunareikien panostusasteen vähenemisen takia voidaan reunoissa etutäytteen pituutta lyhentää, jolloin saadaan aikaan parempi rikotus myös pintaan ja minimoitua ryöstöä vieläkin enemmän. Etutäytteen pituutta ly-hennettäessä kiven heiton riski myös kasvaa. (Vuolio & Halonen 2012, 155–156.)

Pengerloughintaan verrattuna molemmissa irrotustavoissa varsipanoksen panos-tusaste on vain noin 25–50 prosenttia pohjapanoksesta ja kiven heittovaara on huomattavasti suurempi. Molemmissa sytytys avaa kenttää aina ensin keskeltä, jolloin reunoille jää tilaa purkautua. Ahtaan kentän takia tulee myös nallien aika-välit olla suuremmat kuin pengerloughinnassa, jotta kivellä on enemmän aikaa purkautua vapaaseen tilaan. (Jääskeläinen 2010, 224.)

2.2.3 Tarkkuusloughinta

Nykypäivänä monella loughintakohteella on niin tarkat loughintatoleranssit, että niihin on kovin haastavaa päästä tavanomaisilla loughintamenetelmillä. Tark-kuusloughinta on kehitetty muiden loughintamenetelmien tueksi edistämään lou-hinnan tarkkuutta. Nykyään sitä käytetään jo useasti muun loughinnan yhteydes-sä erilaisissa loughintakohteissa sekä avo- että maanalaisissa loughinnoissa. Tarkkuusloughinnalla pyritään vähentämään yliloughinnan määrää, vaurioituneen kalliovyöhykkeen aluetta ja sitä kautta vähentämään lujituskustannuksia, ylläpi-tokustannuksia ja edes auttamaan pääsyä vaadittuihin loughintatoleransseihin. Tarkkuusloughintaa ei tule kuitenkaan sekoittaa siloloughintaan. Siloloughinnasta on kyse silloin, kun tavoitellaan sileätä irrotuspintaa ilman määrättyjä loughintato-leransseja. (Olofsson 1997, 174–175.)

Tarkkuuslouhinta jakautuu pääasiassa kolmeen eri kategoriaan: raonräjäytykseen, jälkilouhintaan ja rakolinjaan. Raonräjäytyksessä on käytössä kaksi erilaista suoritustapaa. Ensimmäisessä tavassa suoritetaan sen räjäytys ennen varsinaisen kentän räjäyttämistä. Toisessa tavassa raonräjäytys suoritetaan lähes samanaikaisesti varsinaisen kentän kanssa kuitenkin siten, että siinä käytetään pieninumeroisimpia nalleja, jotta räjähdys tapahtuu juuri ennen varsinaista kenttää. Tarkoituksena molemmissa tavoissa on luoda nimensä mukaisesti rako suojaamaan ympäröivää kalliota varsinaisen kentän räjäytykseltä. Menetelmä edellyttää tiheään porattua ja yhdenaikaisesti räjäytettyä linjaa onnistuakseen. Tärkeää on myös muistaa maltillinen panostus, jottei raonräjäytyksen uloin reikärivi eikä varsinkaan varsinaisen kentän uloin reikärivi aiheuta vaurioita ympäröivään kallioon. Panostetut reiät jätetään reikäräjäytyksessä myös useimmiten ilman etutäytettä, joten kiven heitto on huomioitava ja tällöin on suoritettava huolellinen peitto tarpeen sitä vaatiessa. Raonräjäytyksessä etuna on jälkilouhintaan verrattuna parempi tulos rikkonaisessa ja homogeenisessä kivessä. Heikkoutena mainittakoon suuret paineaallot, ääni- ja värinähaitat sekä korkea ominaisporaus. (Olofsson 1997, 183–186.)

Jälkilouhinnassa on myös puolestaan kaksi erilaista suoritustapaa. Se suoritetaan joko varsinaisen kentän yhteydessä tai sen jälkeen. Jälkeen suoritettavassa louhinnassa tulee lastata räjäytetty kenttä pois alta ennen kuin voidaan jatkaa. Tämän jälkeen voidaan suorittaa jälkilouhinta jäljelle jätetylle kentälle. Panostetuissa porareissä tulee huolehtia kunnollisesta etutäytteen käytöstä, ja panostetut reiät tulisi ampua ilman viivettä toisiinsa nähden. Etuna menetelmällä on vähäinen poraus ja kohtalainen louhintatulos rikkonaisessa kivessä. Heikkoutena tällä menetelmällä on tarve räjäyttää kaksi kertaa ja lastata räjäytetty kenttä aina ensin alta pois. Kun purkautumiskulman on 90 astetta, aiheuttaa se haastetta onnistua räjäytyksessä. Tällöin on mahdollista hyödyntää myös muita tarkkuuslouhinnan tekniikoita onnistuneen räjäytyksen saavuttamiseksi. (Olofsson 1997, 176–177.)

Kun suoritetaan jälkilouhinta varsinaisen kentän yhteydessä, tulee huolehtia koko ammuttavan kentän oikeanlaisesta ja maltillisesta panostuksesta, jotta varsinainen kenttä ei vaurioita jälkilouhinnan linjaa. Jälkilouhinnan linja panostetaan avolouhinnassa isoimmalla nallinumerolla kuin varsinainen kenttä ja ammutaan yhdenaikaisesti omana linjanaan. Myös tässä menetelmässä kunnollinen etutäyttö on tehtävä tarkasti. Louhintatavalla ei ole selvää heikkoutta, kun sitä verrataan jälkilouhintaan, jossa kenttä räjäytetään vasta lastauksen jälkeen. Etuina menetelmässä on vähäisempi poraus, hyvä louhintajälki rikkonaisessa kivessä ja ei kaivuun tarvetta ennen räjäytystä. (Olofsson 1997, 178–182.)

Rakolinjan ideana on, että muodostetaan räjäytettävään kenttään heikkousvyöhyke poraamalla yksi tai useampi reikäriivi. Tiheään poratut reiät muodostavat yhtenäisen linjan, jonka tarkoitus on rikkoutua kentän räjähtäessä ja täten helpottaa kiven irtoamista suunnitellusta linjasta. Rakolinjan porareikien halkaisijat eivät yleensä ole yli 75 millimetrin, koska sitä suurempien reikien poraus tulee usein kalliimmaksi. Etuina menetelmällä on, että kentän räjähtäessä se ehkäisee ympäröivää kallioon kohdistuvia vaurioita. Menetelmä ei kuitenkaan toimi yhtä tehokkaasti kuin raonräjäytys. Heikkous menetelmällä on kalliit porauskustannukset ja huono tulos rikkonaisessa kivessä. (Olofsson 1997, 175–176.)

Kaikilla edellä mainituilla tarkkuuslouhintatavoilla on sama heikkous porauksen suhteen. Menetelmät vaativat onnistuneet poraukset, jotta räjäytys toteutuu suunnitellusti. Usein unohdetaan, että tulos ei voi olla parempi kuin itse poraus. (Vuolio 2008, 120.)

2.3 Avolouhintaporaus

2.3.1 Poraustekniikka

Kallioporauksen idea on yksinkertaisesti rikkoa kalliota erilaisilla olemassa olevilla menetelmillä ja tehdä siihen reikiä, jotta sitä voidaan esimerkiksi irrottaa, tutkia tai injektoida. Kallion poraamista tapahtuu sekä maanpinnan päällä että

sen alla. Tavallisesti maanpinnalla tehtävissä porauksissa reikäkoot ovat isompia ja irtoamiskulmat suurempia, ja kun poraus suoritetaan maan päällä, ei jatkuva tilanpuute ole yleensä rasitteena. Vaikka kallion poraamisen perusperiaate on yleisesti sama, porauskaaviot eroavat maanpäällisissä ja maanalaisissa koh-teissa huomattavasti. (Hakapää & Lappalainen 2009, 137.)

Kallion poraus perustuu siihen, että kallion pinta rikotaan painamalla kovametal-linastaa tai -pala sitä vasten (kuva 4). Aiheuttamalla painetta muodostuu kosketuskohtaan puristustila ja lopulta kallion puristusjännityksen ylittyessä kova-metallinasta tai -pala murskaa alla olevan kallion. Kosketuskohtaan muodostuu murskausalue, joka kuormituksen kasvaessa alkaa rakoilla. Rakoilu etenee kal-lion vapaalle pinnalle, ja lopulta kalliosta irtoaa pala. Tätä tapahtumaa kutsutaan *lastuamiseksi*. Lastuamisprosessi toistuu, kunhan syöttövoima pysyy yllä ja jatkuva paine kosketuskohtaan säilyy. (Hakapää & Lappalainen 2009, 137–138.)



Kuva 4. Nasta- ja kokopalaterä (Destia Oy 2016; Hakapää & Lappalainen 2009, kuva 8.5).

Kallion poraamiseen voidaan käyttää pääosin kahden eri tavan variaatioita, jot-ka ovat isku- ja kiertoporaus. Iskuporaus jakautuu uppoporaukseen ja päältä lyövään poraukseen, kun taas kiertoporaus jakautuu murskaavaan, leikkaavaan ja hiertävään poraukseen. (Vuorimiesyhdistys r.y. 1982, 203.)

Päältä lyövä iskuporaus on yleisimpiä poraustapoja Suomessa, kun puhutaan räjäytyskenttien porauksesta. Päältä lyötävässä menetelmässä iskuenergia siir-retään kallioporakoneesta poratankoa pyörittäen kovametallipalaan. Jokaisen iskun jälkeen poranterää käännetään reiässä aina uuteen kohtaan muodosta-

maan painetta, kunnes kivi murskautuu. Kun porataan syvälle, tarvitsee poratankoa jatkaa jatkopaloilla. Vaikka jatkotangot liitetään toisiinsa kierreliitoksilla, ongelmaksi tulee silti merkittävä energiahäviö liitoksissa. Energiahäviö jatkotankojen liitoksissa on 6–10 prosenttia. (Hakapää & Lappalainen 2009, 139.)

Uppoporaus taas eroaa päältä lyötävästä porauksesta siinä, että uppoporauksessa porakoneen mäntä iskee suoraan porakruunun päähän. Porakone kulkee siis reiässä mukana, ja näin ollen jatkotankojen aiheuttama energiahäviö jää pois. Uppoporaus soveltuu kuitenkin vain reikiin, jotka ovat halkaisijaltaan 85–1 220 mm, kun taas päältä lyötävä poraus soveltuu pienempiinkin reikiin. Päältä lyötävän menetelmän maksimireikäkoko on 165 mm. (Hakapää & Lappalainen 2009, 139.)

Edellä mainittujen iskuporauksessa käytettävien menetelmien lisäksi on käyttöön tullut myös uusi sovellutus, putkikalustolla toteutettava iskuporaus. Tässä menetelmässä iskuenergia ja pyöritys välitetään porakruunuun erillisillä tangoilla, jotka ovat poraputken sisällä. Vaikka menetelmä välittää energian tankoliitoksilla, energiahävikki on hyvin minimaalinen. Tämä johtuu siitä, että tankojen välinen pinta on kierteetön ja kohdistus näiden tankojen välillä on optimaalinen. Tämä sovellutus sopii käytettäväksi, kun reikäkoko on 90–180 mm. (Hakapää & Lappalainen 2009, 139.)

Murskaava kiertoporausta on alun perin käytetty paljon öljynporauksessa, mutta nykyisin se on käytössä myös suurissa avolouhintakohteissa. Murskaavassa kiertoporauksessa kivi rikotaan kovalla kärkipaineella kolmikulmaisen kovame-tallinastoilla varustetun terän pyöriessä samanaikaisesti. Pyörivän liikkeen synnyttää poraputken päässä oleva erillinen hydraulinen tai sähkömoottori. Porattavien reikien halkaisija vaihtelee 200–400 mm. Murskaavassa kiertoporauksessa alaspäin kohdistuva tarvittava työntövoima saadaan aikaan hyödyntämällä poravaunun omaa painoa. Siksi tässä menetelmässä on hyvin tyypillistä, että poravaunut ovat suurikokoisia ja ennen kaikkea painavia. Koneiden koon lisäksi myös käytettävät poraputket ovat massiivisia, jopa 20 metriä pitkiä. Näinkin pitkiä poraputkia on mahdollista käyttää koneissa olevien korkeiden mastojen ja tukevien alustojen takia. (Hakapää & Lappalainen 2009, 139.)

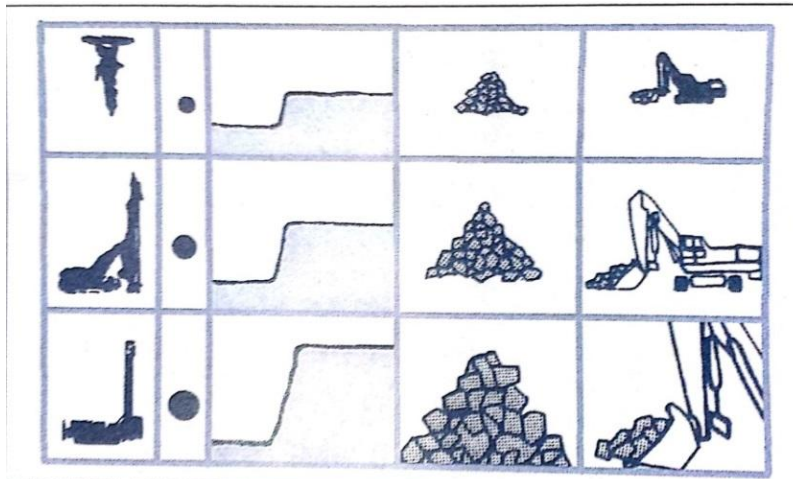
Leikkaavaa kiertoporausta on käytetty pääasiassa vain pehmeiden kivilajien porauksessa. Vaatimuksena on ollut, että porattavan kivilajin puristuslujuus on saanut olla korkeintaan 150 MPa. Suomessa esimerkiksi yleisimpiin kivilajeihin lukeutuvan graniitin puristuslujuus on noin 250–300 MPa. (Vuorimiesyhdistys r.y. 1982, 203.) Leikkaava kiertoporaus perustuu siihen, että siinä nimensä mukaisesti rikotaan kalliota leikkaamalla. Poranterä on kovametalliseoksesta valmistettu leikkausterä, ja kiven murtamiseen tarvittava voima tuotetaan poratannon vääntömomentilla. (Hakapää & Lappalainen 2009, 139.)

Hiertävää kiertoporausta toiselta nimeltään kallionäytekairausta käytetään pääasiassa malmin- ja mineraalietsinnän yhteydessä. Menetelmässä käytetään renkaan muotoista timanttiterää, joka hiertää kalliosta palasia irti. Hierto tapahtuu pyörivällä liikkeellä ja sen yhteydessä painetaan terää pohjaa kohden. (Hakapää & Lappalainen 2009, 140.)

Kallion porauksessa oleellista on oikean menetelmän valinnan lisäksi myös tarpeeksi huolellinen huuhtelu porareiässä. Porausjäte eli soija vaikuttaa merkittävästi tunkeutumisnopeuteen ja poranterän käyttöikään. Huuhtelua voidaan suorittaa reiässä joko vettä tai paineilmaa hyväksi käyttäen. Tärkeää on, että reikä on koko ajan puhtaana soijasta, jottei kertymiä pääse syntymään. Porareiän huuhtelussa käytetään tavallisesti paineilmaa maanpäällisissä porauksissa ja vettä maanalaisissa. (Hakapää & Lappalainen 2009, 140–141.)

2.3.2 Porauskalusto ja sen valintaan vaikuttavat tekijät

Avolouhintaporauksessa on laaja-alaisesti laitteistoa käytössä aina käsiporista raskaisiin poravaunuihin. Se mitä laitteistoa kussakin kohteessa päädytään käyttämään, koostuu monista eri tekijöistä päätöstä tehtäessä. Laitteiston valinnan perustana pidetään kuitenkin porareiän läpimitan ja porauskaavion välistä suhdetta (kuva 5). (Vuolio & Halonen 2012, 139.)



Kuva 5. Porareian, pengerkorkeuden ja louheen lohkekoon välinen riippuvuus (Vuolio & Halonen 2012, kuva 5.42).

Määritettäessä käytettävää porauskalustoa tulee huomioida irrotettavan kiven määrä ja alueen koko yleisellä tasolla. Yksi rajaava tekijä on louhittavan kallion laatu, miten rikkonaista kallio on, kovuus, kuluttavuus ja yleinen rakenne. Rikkonaisessa kalliossa joudutaan esimerkiksi usein reikien tukeutumisvaaran takia poraamaan suurikokoisempia porareikiä, vaikka irrotusteknilliset tekijät mahdollistaisivat pienemmän reikäkoon. Toinen rajaava tekijä on pengerkorkeus. Hyvin tyypillistä on, että pengerkorkeudet on jo etukäteen määritetty, ja silloin sovelletaan porauskaaviota eri korkeuksien mukaan. Kolmas rajaava tekijä on porattava reikäkoko. Reikäkoon valintaan puolestaan vaikuttaa pengerkorkeuden lisäksi esimerkiksi sallitut tärinät, jäljelle jäävän kallion lujuusvaatimukset, lohkekoko ja vallitseva ympäristö. Nyrkkisääntönä voidaan reikäkoko määrittäessä pitää, että jos penger on alle 15 metriä, määrää se silloin reikäkoon, ja jos penger on taas yli 15 metriä, määräävimmat tekijät reikäkoon suhteen ovat irrotettavan kallion kuutiotilavuus ja lohkekoko. (Hakapää & Lappalainen 2009, 145–149.)

Käytettävissä oleva porauskalusto on nykypäivänä varsin monipuolinen, ja sen kehitys käsiporakoneista poravaunuihin on ollut vuosien saatossa todella nopeaa. Porauskalustolle tärkeitä kriteereitä ovat aina olleet hyvä liikkuvuus, ulottuvuus, tehokkuus, taloudellisuus ja kohtuulliset työskentelyolosuhteet. (Vuolio & Halonen 2012, 131–133.)

Päältä lyövät porausvaunut ovat avolouhintakohteissa yleisimmin käytettävät porausvaunut Suomessa. Ne voidaan karkeasti jaotella kokonsa puolesta kevyisiin, keskiraskaisiin ja raskaisiin porausvaunuihin. Tavallisesti matalissa eli 3–10 metrin penkereissä on käytössä pienreikäkalustoa eli kevyitä porausvaunuja (kuva 6). Kevyet porausvaunut kykenevät poraamaan reikiä, joiden kokoluokka on tyypillisesti 27–51 mm, mutta korkeintaan 64 mm. Ne ovat tavallisesti joko kumipyörä- tai kevyttela-alustaisia. Pienen ja ketterän kokonsa puolesta ne ovat useimmiten kauko-ohjauksellisia hytittömiä vaunuja. Tämä mahdollistaa sen, että niillä on kyky suorittaa porausta erittäin haastavissakin maasto-olosuhteissa. (Hakapää & Lappalainen 2009, 150–151.)



Kuva 6. Kevyt porausvaunu (Sandvik 2016).

Keskikorkeissa eli 5–25 metrin penkereissä käytetään keskiraskaita porausvaunuja (kuva 7). Niillä yleisimmin porattavat reikäkoot ovat noin 35–89 mm:n kokoluokkaa, riippuen hieman kalustosta. Ne ovat pääasiassa tela-alustaisia hytin omaavia poravaunuja. (Hakapää & Lappalainen 2009, 150–151.)

Raskaat porausvaunut (kuva 8) ovat hyvin samankaltaisia keskiraskaiden kanssa. Myös raskaissa porausvaunuissa on pääasiassa tela-alustat, ja vaunut ovat hytillisiä. Raskailla porausvaunuilla on kyky porata 76–203 mm reikiä, ja useimmiten porattavien penkereiden korkeus on tällöin pääasiassa vähintään 15 metriä. (Hakapää & Lappalainen 2009, 150–151.)



Kuva 7. Keskiraskas porausvaunu
(Destia Oy 2016).



Kuva 8. Raskas porausvaunu
(Sandvik 2016).

2.4 Avolouhintaräjäytys

Onnistunut kallion irrotusräjäytys on monen eri tekijän summa. Irrotusräjäytyksessä tärkeimmät tavoitteet ovat kivien lohkaroitaminen haluttuun kokoon jatkokäsittelyä varten ja kallion riittävän siirtymän eli heiton toteutuminen. Ratkaisevassa roolissa onnistuneelle irrotusräjäytykselle on kallion geologiset ominaisuudet, käytettävien räjähdysaineiden ominaisuudet, sytytysvälineet ja aikavälit panostettujen reikien välillä sekä räjähdysgeometria. (Vuolio & Halonen 2012, 101.)

Kalliota räjäytettäessä tapahtuu kiven irtoaminen kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa räjähdys muodostaa porausreikään valtavasti painetta. Paineen aiheuttaa räjähdysen aikaansaama iskuaalto, joka liikkuu kiven läpi nopeudella 3 000–6 000 m/s. Iskuaallon luoman paineen seurauksena porausreiän seinämiin muodostuu tangentiaalinen jännitystila. Jännitystilan ylittäessä kallion puristuskestävyyden murskautuu kallio 1–5 kertaa porausreiän säteen suuruiselta alueelta. Murskautumisen yhteydessä muodostuu kallioon mikroskooppisia rakoja. Nämä raot eivät kuitenkaan vielä riitä irrottamaan kalliota, mutta ne edesauttavat kallion rikkoutumista. Toisessa vaiheessa iskuaallon päästyä vapaaseen kalliopintaan tai kallion rakoihin, heijastuu se näistä pinnoista aiheuttaen puristusjännitystilan muutoksen vetojännitystilaksi. Tämä muuttunut jännitystila aiheuttaa pieniä säteittäisiä rakoja kallioon, jotka yleensä lähte-

vät muodostumaan porausreiän keskeltä reunamia kohden. Kolmannessa vaiheessa räjähdyslämmön laajentamat räjähdyskaasut tunkeutuvat näihin muodostuneisiin rakoihin ja halkeamiin. Tunkeutuneet räjähdyskaasut laajentavat rakoja ja samanaikaisesti kallio alkaa antaa periksi vapaata pintaa kohden. Tapahtumaketjun seurauksena porausreiässä paine laskee, vetojännitys halkeamissa kasvaa, halkeamat lisääntyvät ja kalliomassa alkaa liikkua. Halkeamien ulottuessa vapaaseen pintaan asti kallio lopulta irtaana. Kallion siirtyminen tapahtuu tavallisesti nopeudella 10–30 m/s. Nämä edellä mainitut vaiheet tapahtuvat todella lyhyessä ajassa (kuvio 2). (Olofsson 1997, 59–61.)

Porausreiän laajeneminen ajan funktiona.

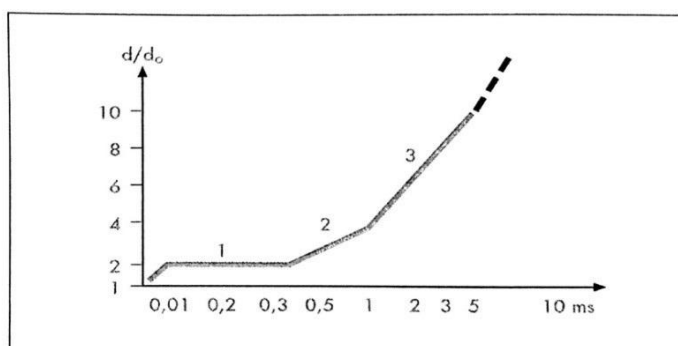
d = Laajentuneen porausreiän tilavuus

d_0 = Alkuperäinen porausreiän tilavuus

1 Iskuaallon aiheuttaessa kallion murskautumista porausreiän läpimitta (d_0) kaksinkertaistuu (d). Mikrorakojen muodostuminen alkaa noin 0,1 - 0,4 ms kuluessa.

2 Luonnon raot kasvavat, ja uusia rakoja syntyy heijastuksien aikaansaamien jännitystilojen johdosta.

3 Kaasujen laajentuminen rikkoo ja siirtää kalliota.



Kuvio 2. Porausreiän laajeneminen ajan funktiona (Vuolio & Halonen 2012, kuva 4.04).

Kallion lohkokokoon vaikuttaa pääasiassa yhdeksän eri tekijää (kuvio 3). Vaikka räjähdysaineen ominaisuudet ovat yksi tärkeimpiä tekijöitä, niin on kallioiden geologia sitäkin tärkeämpi lohkaroitumista mietittäessä. Kallion geologiaa tarkasteltaessa ovat vaikuttavimmat tekijät puristuslujuus, vetolujuus, tiheys, aaltoliikkeen etenemisnopeus, kallion kovuus ja sen rakenteelliset ominaisuudet. Tutkimalla kalliosta edellä mainittuja tekijöitä on havaittu, että vähemmän lujat kivilajit antavat enemmän anteeksi räjäytyksen suhteen ja toimivat parhaiten hitaiden (3 000–4 000 m/s) räjähdysaineiden kanssa. Kovat kivilajit ovat puolestaan räjäytettäessä haastavampia, ja niitä tulisi käyttää nopeiden (5 000–6 000 m/s) räjähdysaineiden kanssa. Kallion rakenteellisten ominaisuuksien ollessa puolestaan huonoja on huomioitava räjähdysenergian kato rakoihin ja halkeamiin. Tällaisissa tapauksissa tulisi välttää ominaispanostuksen nostamis-

ta ja käyttää pienempää reikäkokoa, kasvattaa ominaisporausta ja sijoittaa räjähteet reikiin, jotka eivät sijaitse heikkousvyöhykkeellä. Näin vältetään turhalta ryöstöltä, ylisuurilta lohkareilta ja korkealta kiven heiton riskiltä. (Vuolio & Halonen 2012, 110.)



Kuvio 3. Lohkarekokoon vaikuttavat tekijät (Vuolio & Halonen 2012).

Porareikien kallistuksella ja suuntauksella saadaan parannettua louhintatulosta. Samalla niillä voidaan myös parantaa lohkarekoon hallintaa. Epätarkka kallistus ja suuntaus kasvattavat puolestaan lohkarekokoa, koska tällöin etu- ja reikävälietäisyydet tulevat epäsäännöllisiksi ja räjähdysenergia katoaa kalliorakoihin. Porareikien kallistuksen ja suuntauksen lisäksi lohkarekokoon vaikuttaa porauskaaviossa käytetty reikävälin suhde etuun (E/V). Optimaalisin reikävälin ja edun suhde on 1,25, jos halutaan tavoitella pientä lohkarekokoa. Suurta lohkarekokoa puolestaan tavoiteltaessa voidaan suhdetta kasvattaa, mutta tällöin vaarallisen heiton riski kasvaa. (Vuolio & Halonen 2012, 110–111.)

Sytytyskaaviossa vaikuttaa lohkokokoon reikien ja reikärivien välillä käytettävä ajastuksen pituus. Kun käytetään yhtä suurta ominaispanostusta, antaa suhteellisen lyhyt ajastus pienemmän lohkokokoon ja pidemmällä ajastuksella lohkokoko jää puolestaan isommaksi. Ääritapauksia tarkastellessa liian lyhyt ajastus aiheuttaa panostettuihin reikiin tai riveihin lähes yhdenaikaisen räjähdysten, jolloin kivellä ei ole aikaa siirtyä. Tämän seurauksena kallio ei irtoa pohjasta kunnolla ja pohjaan muodostuu kynsiä. Ongelmaksi liian lyhyessä ajastuksessa aiheutuu myös se, että edellisten reikien tai rivien räjähdysten aiheuttama värinä ei ehdi vaikuttamaan seuraavana vuorossa oleviin. Liian pitkällä ajastuksella reiät tai rivit puolestaan räjähtävät siten, että edellisten reikien tai rivien räjähdysten aiheuttama värinä ei enää vaikuta, kun seuraavat räjähtävät. Liian pitkä ajastus aiheuttaa lisäksi ryöstöä peräkkäisten reikien tai rivien välillä. Molempien ääritapauksien kohdalla on se riski, että lohkokoko muodostuu ylisuuraksi liian lyhyen tai liian pitkän ajastuksen takia. (Vuoli & Halonen 2012, 111–146.)

Räjäytettävän kentän osalta täytyy huomioida, että kentän pituus ei tulisi olla suurempi kuin puolet kentän leveydestä, ja jos kenttä on ylisuuri, tulee ominaispanostusta ja ominaisporausta kasvattaa takarivien osalta. Kentät räjäytetään usein moniriviräjäytyksellä, mikä aiheuttaa ylisuurien lohkojen muodostumisen kentän etuosassa. (Vuoli & Halonen 2012, 113.)

Lohkaroitumisen lisäksi toinen tärkeä tavoite kallion irrotusräjäytyksessä on riittävä kallion siirtyminen, jota kutsutaan myös *heitoksi*. Tätä ei pidä sekoittaa sinkoutumiseen, jossa kivet ja pienet kallionkappaleet lentävät huomattavasti kauemmas. Heitossa irrotettavan kentän painopiste siirtyy eteenpäin ominaispanostusta nostamalla, ja noin 16 prosenttia ylipanostuksen energiasta muuttuu heittoenergiaksi (taulukko 1). Heiton suuruuteen ylipanostuksen lisäksi vaikuttaa monet samat tekijät, jotka vaikuttavat myös lohkaroitumisessa. Vaikuttavia tekijöitä heittoon on esimerkiksi kallion geologia, sytytyskaavio, porauskaavio, panostustapa, käytettävien räjähteiden ominaisuudet sekä reikien kallistus ja suuntaus kallion rakoilun suhteen. (Vuoli & Halonen 2012, 106–108.)

Taulukko 1. Kentän painopisteen siirtymä ylipanostuksen funktiona (Vuolio & Halonen 2012, taulukko 4.01).

Ylpanostus (kg/m ³)	Räjäytettävän kallion painopisteen siirtymä (m)
0	0
0,05	3,5
0,10	7,0
0,15	10,0
0,20	15,0

3 TARKASTELTAVAT TUNNUSLUVUT

3.1 Ominaisporaus

Ominaisporauksen sekä muiden tässä työssä käsiteltävien tekijöiden tunnuslukujen, laskentaan Destialla pääasiassa eri laskentaohjelmilla. Tarvittaessa tulee kuitenkin osata suorittaa näiden tekijöiden tunnuslukujen laskenta myös käsin. Vaikuttavat parametrit ovat laskentaohjelmaa tai käsin laskentaa käytettäessä pääosin samat. Tarjouslaskentavaiheessa lasketaan teoreettisilla arvoilla ja tuotantovaiheessa todellisilla. (Vuolio & Halonen 2012, 150–152, 177.)

Ominaisporaus on varsin keskeinen käsite irrotuslouhinnassa, ja se tarkoittaa, kuinka monta porametriä tarvitaan yhden kuutiometrin irrottamiseen. Tyypillinen porametrimäärä kuutiometriä kohden avolouhinnassa vaihtelee välillä 0,4–1 (pom/m³). Edellä mainittu arvo on ohjeellinen, ja todellinen suuruus määräytyy aina tapauskohtaisesti louhintakohteen eri tekijöiden vaikutuksesta. Näitä ominaisporaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käytettävät louhintamenetelmät ja kallion geologiset ominaisuudet. (Vuolio & Halonen 2012, 150–152.)

Ominaisporauksen tunnusluku b on laskettavissa seuraavasta kaavasta, jos tiedetään todelliset poratut metrit ja kuutiot:

$$b = \frac{pomtd}{m^3ktd}, \text{ missä}$$

b on ominaisporauksen tunnusluku,

$pomtd$ on todelliset poratut metrit ja

m^3ktd on irrotetut kiintotodelliset kuutiometrit (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016).

Kaavaa ei voida kuitenkaan hyödyntää, jos tiedossa ei ole todellisia määriä. Tällöin tunnusluvun laskennassa voidaan soveltaa seuraavia eri laskentatapoja. Alla olevaa kaavaa voidaan käyttää, jos irtoamisen ei tarvitse rajoittua tarkasti tietylle alueelle. Tällöin lasketaan ominaisporauksen tunnusluku b seuraavasti:

$$b = \frac{H}{V_1 \times E_1 \times K}, \text{ missä}$$

H on porareian syvyys metreinä,

V_1 on etu metreinä,

E_1 on reikäväli metreinä ja

K on pengerkorkeus metreinä (Vuolio & Halonen 2012, 150–152).

Jos puolestaan louhintakohteelle on määritetty tarkat rajat, lasketaan ominaisporauksen tunnusluku b seuraavasti:

$$b = \frac{n \times H}{B \times V_1 \times K}, \text{ missä}$$

n on reikien määrä reikärivissä ja

B on kentän leveys metreinä (Vuolio & Halonen 2012, 150–152).

3.2 Ominaispanostus

Ominaispanostus tarkoittaa käsitteenä sitä, montako kiloa räjähdysainetta tarvitaan yhden kuutiometrin irrottamiseen. Tyypillinen ominaispanostuksen tunnusluku avolouhinnassa vaihtelee välillä 0,4–1,2 (kg/m³). Tunnusluvun arvo on, samoin kuin edellä käsitellyn ominaisporauksen tunnusluvun kohdalla, ohjeellinen ja määräytyy aina tapauskohtaisesti louhintakohteen eri tekijöiden vaikutuksesta. Ominaispanostuksen tunnuslukuun vaikuttavat tekijät ovat pitkälti samoja kuin ominaisporauksenkin, ja siksi voidaan sanoa, että ne ovat toistuvasti vuorovaikutuksissa toisiinsa. (Vuolio & Halonen 2012, 150–152.)

Laskettaessa käsin voidaan ominaispanostuksen tunnusluku q laskea seuraavalla tavalla, jos tiedetään todelliset käytetyt räjähdelainekilot ja irrotetut kuutiot:

$$q = \frac{kgt d}{m^3 ktd}, \text{ missä}$$

q on ominaispanostuksen tunnusluku,

$kgt d$ on todelliset käytetyt räjähdelainekilot ja

$m^3 ktd$ on irrotetut kiintotodelliset kuutiometrit (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016).

Jos ei ole tiedossa edellisen kaavan vaatimia tekijöitä, voidaan käyttää seuraavia kaavoja ominaispanostuksen tunnusluvun laskemisessa: kaavassa oletetaan, että kallion irtautuminen tapahtuu ohi kentän reunalinjojen, jolloin ominaispanostuksen tunnusluku q lasketaan seuraavasti:

$$q = \frac{Q_t}{V_1 \times E_1 \times K}, \text{ missä}$$

Q_t on reikäpanos kiloina,

V_1 on käytännön etu metreinä,

E_1 on käytännön reikäväli metreinä ja

K on pengerkorkeus metreinä. (Vuolio & Halonen 2012, 150–152.)

Vaihtoehtoisesti voidaan olettaa kallion irtautuvan pitkin teoreettista reunalinjaa, ja tällöin lasketaan ominaispanostuksen tunnusluku q seuraavasti:

$$q = \frac{n \times Q_t}{B \times V_1 \times K}, \text{ missä}$$

n on reikien määrä reikärivissä ja

B on kentän leveys metreinä (Vuolio & Halonen 2012, 150–152).

3.3 Ominaisrikotus

Kun puhutaan ominaisrikotuksesta, tarkoitetaan sillä tavallisesti räjäytystyön jälkeistä työvaihetta, jossa rikotetaan ylisuureksi jääneet lohkarieet sopivammaksi louheen käsittelyä varten. Ominaisrikotus voi kuitenkin sisältää myös esimerkiksi kentiin muodostuneiden kynsien rusnausta ja luonnonkivien rikotusta. (Vuolio & Halonen 2012, 177.)

Rikotus tapahtuu pääosin hydraulista iskuvasaraa käyttäen, mutta muita vaihtoehtoisia menetelmiä ovat myös pudotuspallo ja hydraulinen kiilaus. Rikotus on tyypillisesti työvaiheena varsin kallis, ja usein tulee edullisemmaksi kokonaiskustannuksia ajatellen nostaa irrotuskustannuksia niiden säästämisen sijaan. Irrotuskustannusten nostolla saavutetaan parempi lohkaroituminen, ja näin ollen rikotuksen tarve jää vähäisemmälle. Sitä ei tule sotkea rikkoräjäytyksiin, joissa räjäytetään ylisuuret lohkarieet joko pintapanoksin tai poraus ja panostus -menetelmällä. (Vuolio & Halonen 2012, 177.)

Ominaisrikotuksessa verrataan siihen käytetyn rahan määrää suhteessa irrotettuihin kiintotodellisiin kuutiometreihin. Murskaustoimintaa suoritettaessa tunnusluvun keskiarvo on noin 0,30 (€/m³), mutta muissa kuin murskaustoiminnassa ominaisrikotuksen tunnusluvun arvo vaihtelee aina tapauskohtaisesti (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016).

Ominaisrikotuksen tunnusluku voidaan laskea seuraavasti, jos tiedetään siihen käytetyt kustannukset ja todelliset irrotuskuutiot:

$$G = \frac{\text{€}}{m^3 ktd}, \text{ missä}$$

G on ominaisrikotuksen tunnusluku,

€ on rikotukseen käytetyt todelliset kustannukset (euroina) ja

$m^3 ktd$ on irrotetut kiintotodelliset kuutiometrit (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016).

Teoreettisilla arvoilla laskiessa voidaan ominaisrikotuksen tunnusluku ratkaista seuraavasti:

$$G = \frac{\epsilon_{tr}}{m^3 ktr}, \text{ missä}$$

ϵ_{tr} on rikotukseen käytettävät teoreettiset kustannukset (euroina) ja $m^3 ktr$ on irrotetut kiintoteoreettiset kuutiometrit (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016).

4 HELSINKI-VANTAAN LENTOASEMAN LAAJENNUSURAKKA VLK

4.1 Hankkeen esittely

Louhintaurakka sijoittuu Helsinki-Vantaan lentoasemalle. Lentoasemalla on käynnissä Finavia Oyj:n noin 900 miljoonan euron suuruinen kehitysohjelma, joka alkoi vuonna 2013 ja jonka on määrä valmistua vuonna 2020. Kehitysohjelman toinen vaihe on nyt käynnissä ja siinä laajennetaan mm. terminaalitiloja ja matkatavaratehdasta sekä lisätään konepaikkojen määrää. Laajennus on mittava, ja siinä tulee esimerkiksi terminaalitilojen pinta-ala kasvamaan noin 45 prosenttia nykyisestä. Helsinki-Vantaan kehitysohjelman toisen vaiheen laajennustyöt jakautuivat Destian ja Lemminkäisen kesken, ja sopimusten arvo on yhteensä noin 260 miljoonaa euroa. Destia Oy toimii asematason maanrakennusurakoitsijana ja Lemminkäinen Oyj terminaalin talonrakennusurakoitsijana. (Finavia 2016.)

Maanrakennusurakan virallinen nimi on asematason allianssi, vaihtoliikennekapasiteetin kehittäminen (VLK). Destia Oy muodostaa allianssin yhdessä Finavia Oyj:n kanssa. Maanrakennusurakka jakautuu siten, että Destian Etelä-Suomen tulosityksikkö toimii pääurakoitsijana, ja louhintatyöt suorittavat aliurakointina talon oma kallioyksikkö. Maanrakennusurakka sisältää kaksi pääasiallista aluetta, rullaustien AM-AH ja urakkaosan 1 (kuva 9). Urakan laajuuden takia ovat alueet jaoteltu vielä eri lohkoihin, jotta kokonaisuus olisi paremmin hallittavissa. Tässä työssä keskitytään ainoastaan rullaustie AM-AH alueen louhintatöihin. (Projektin työmaaopas 2015.)



Kuva 9. Maanrakennusurakan alueet ilman sisäisiä lohkojakoja (Asematason allianssi 2016).

4.2 Asematason rullautie AM-AH

Rullautien AM-AH louhinta suoritetaan varsin keskeisellä paikalla Helsinki-Vantaan lentokenttää. Sijainti ja se, että lentokenttä on normaalissa toiminnassa, tekevät kohteesta todella haastavan. Urakalle on määrätty erittäin tarkat louhintatoleranssit ja vaatimukset louhintojen turvallisuuden sekä toteutustapojen suhteen. Lentoliikenne ja alueella toimivat tahot rajoittavat merkittävästi louhinnan suoritusta. Jo pelkästään ilmoitusvelvollisuus jokaiselle osapuolelle ennen räjäytystä on aikaa vievää, puhumattakaan räjäytysajankohtien sovittamisesta kaikille osapuolille sopivaksi. Osapuolista lentoliikenne on määräävin tekijä ja siksi lennonjohto päättää viime kädessä, sopiiko esitetty räjäytysajankohta vai ei. (Asematason allianssi. 2016.)

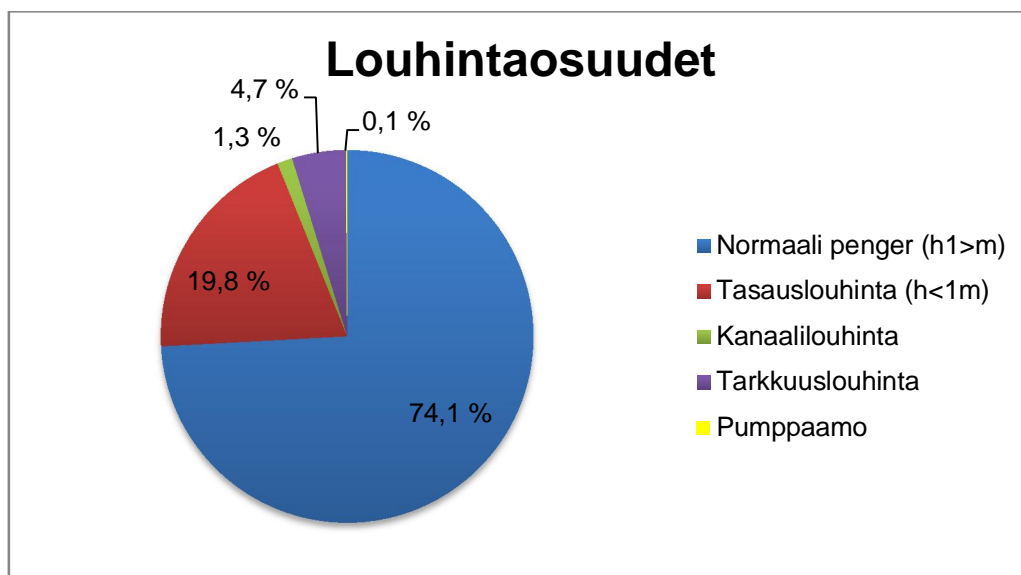
Yhteensovittamisen tuomien haasteiden lisäksi alueella sijaitsee monia tärinäherkkiä kohteita, esimerkiksi kehäradan ratatunneli, käynnissä olevat valutyöt ym. Näiden lisäksi yleinen kivien sinkoilu ja materiaalien joutuminen ns. puhtaalle alueelle aiheuttavat myös päänsäivää. Edellä mainitut asiat ovat va-

kava turvallisuusriski sekä lentokoneille että muille alueella toimiville tahoille. Jotta vauriot jäisivät mahdollisimman vähäisiksi, on Finavia etukäteen jo määrittänyt alueen ilma-aluksille 200 metrin turva-alueen, jonka sisällä ei saa räjäyttää. Räjäytysten tapahtuessa reuna-alueilla tulee räjäytystyönjohtajan sopia Finavian kanssa aina erikseen alueen tyhjentämisestä ja uuden turva-alueen määrittämisestä. AM-AH-urakassa suurimmat riskit toteutuksen suhteen ovat sekä aikatauluun että turvallisuuteen liittyviä. Tilaaja on pyrkinyt vähentämään riskejä ja ohjaamaan urakoitsijan toimintaa mm. määrittämällä seuraavia tarkentavia kriteereitä louhintatöille: on käytettävä NONEL-menetelmää, syttymisaikavälin oltava 25–50 millisekuntia, penkereen eteen on jätettävä aina suojaava kivikasa, etutäytteen on oltava riittävän suuri ja kentät on aina peitettävä kunnolla. (Asematason allianssi 2016.)

Asematason rullaustien AM-AH louhintaurakka sisältää Finavian antamien tietojen mukaan louhintaa yhteensä noin 200 000 m³ltr, ja suurin sallittu lohkokoko on 600 millimetriä. Suurin osa alueen louhinnoista jakautuu normaaliin pengerlouhintaan ($h > 1\text{m}$), jossa keskimääräinen pengerkorkeus on noin 3 metriä. Urakka-alueella muut louhinnat jakautuvat tasauslouhinnan ($h < 1\text{m}$), tarkkuuslouhinnan ja kanaalilouhinnan kesken (kuvio 4). Louhintaurakan suunniteltu päiväkohtainen irrotusteho on noin 1 400 m³ltr, ja räjäytysajankohdat painottuvat aamu- ja iltapäivään. Tarkoituksena on ampua määritettyinä räjäytysajankohtina useampia kenttiä samanaikaisesti, jotta suunniteltu irrotusteho saavutetaan ja lentoliikenteen häirintä jää mahdollisimman vähäiseksi. Kenttien irrotus aloitetaan alueen eteläosasta, minkä jälkeen edetään länsiosasta kohti alueen itä- ja pohjoisosien alueita. (Asematason allianssin 2016.)

Erikoisuutena alueella louhitaan tarkkuuslouhintana siltapaikka rullaustien sillalle ja sen alittavalle huoltotielle (liite 1). Siltapaikalle louhitaan ns. hylly, ja tähän on suunniteltu käytettävän normaalien tarkkuuslouhintamenetelmien lisäksi tunnelijumboa vaakaporauksessa. Menetelmä toimii Destialla pilottikohteena, ja sen tavoitteena on saavuttaa parempi louhintatulos entistäkin kustannustehokkaammin. Rullaustie AM-AH alueen louhinta-aika on noin 7 kuukautta, alkaen

vuodenvaihteesta 2015/2016 ja päättyen 7/2016 mennessä. (Asematason allianssi 2016.)



Kuvio 4. Rullautie AM-AH louhintaosuudet (Asematason allianssi 2016).

4.3 Käytössä olevat laskenta- ja seurantaohjelmat

4.3.1 MAP

MAP on tarjouslaskentatyökalu, jota Destia käyttää ja jolla rullautien AM-AH urakka on myös laskettu (liite 2). MAP-laskenta on melko yksinkertainen ja selkeä käyttää sekä nopea antamaan lukuja ulos. MAP-laskennan kanssa pystytään hallinnoimaan isompia projekteja ja erittelemään eri työvaiheet tehtävittäin loogisesti nimikkeiden alle. Nimikkeiden alle luodaan aliprojekti ja aliprojektille sen haluttu rakenneos, jota aletaan laskea. Valitun rakenneosan alle luodaan tehtävät ja alitehtävät sekä määritetään niille resurssit. Jokaiselle resurssille syötetään vaaditut arvot sekä kertoimet, ja lopulta niille saadaan hinta ja menekki. Vaadittuihin arvoihin ja kertoimiin sisältyy resursseista riippuen esimerkiksi määräriskin kertoimia, kapasiteetteja (aikayksikköinä) ym. MAP -laskenta usein vahvistaa empiiriset tiedot urakan arvosta ja ohjaa urakkaa kohti oikeaa suuruusluokkaa. MAP-laskenta ei suoraan määrää urakan hintaa Destialla, mut-

ta se on hyvä työkalu tarjouslaskentaa suorittaessa. (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016.)

4.3.2 Blastec

Blastec on Forcitin tarjoama räjäytyssuunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto. Destialla Blastec-ohjelmisto on käytössä pääasiassa tarjouslaskentavaiheessa, mutta tarpeen vaatiessa sitä voidaan käyttää myös tuotannossa. Ohjelmiston avulla pystytään tarjouslaskentavaiheessa laatimaan alustavia poraus- ja panostussuunnitelmia sekä arvioimaan muodostuvia kustannuksia louhintojen osalta. Kustannusvertailujen muodostaminen eri vaihtoehtojen välillä on nopeaa ja laskelmat saadaan helposti tulostusmuotoon. Forcit edesauttaa tätä prosessia tarjoamalla ohjelmiston mukana heidän tuotevalikoiman ja tuotteidensa hinnat. Tuotantovaiheessa voidaan Blastec-ohjelmiston avulla laatia ja muokata poraus- sekä panostussuunnitelmia louhintojen edetessä aina kenttäkohtaisesti. Blastec -ohjelmisto mahdollistaa myös sytytyksien yksityiskohtaisen suunnittelun ja demonstroinnin, minkä puolestaan helpottaa rakoiluvyöhykkeen sekä täri-
nöiden hallintaa. Edellä mainittujen lisäksi Blastec-ohjelmistoa voidaan käyttää myös tunnelipuolella porauskaavioiden ja nallitusten suunnittelussa. (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016.)

4.3.3 Excel-laskenta ja taulukot

Tarjouslaskennassa Excel-laskenta on erinomainen apu laskettaessa määriä ennen varsinaista MAP-laskentaa. Excel-laskennalla voidaan laatia laskelmat helposti ymmärrettävään muotoon ja laadittaessa laskenta määrättyyn formaattiin, voidaan se viedä suoraan MAP-laskentaan. Excel-laskenta mahdollistaa tehokkaan tavan laskea, ja se tarjoaa samalla valmiin rungon MAP-laskennalle. Tarjouslaskennan lisäksi Excel-ohjelmistoa hyödynnetään Destialla myös tuotantovaiheen seurannassa, ja esimerkiksi rullaustie AM-AH urakan seuranta perustuu pitkälti Excel-taulukoihin. Erilaisia seurantataulukoita laaditaan paljon, ja tärkeimmät niistä ovat määrä- ja kustannusseuranta. Määräseurannassa tar-

kastellaan viikkokohtaisesti irrotuskuutioiden todellisia määriä suhteessa laskennan ja tuotannon asettamiin tavoitteisiin. Seurannan ansiosta tuotantovaiheessa saadaan selville irrotustehot ja pystytään tekemään korjausliikkeitä, jos jäädyään merkittävästi suunnitelluista määristä. Määräseurannan lisäksi toinen tärkeä seurannan kohde on kustannusseuranta. Kustannusseurantaan on eriteltynä irrotuslouhinnan kulut eri osa-alueittain, ja näitä kuluja ovat esimerkiksi poraus-, räjähdetaine-, kuorma- ja polttoainekustannukset ym. Kustannusseurannassa nähdään taloudellinen kulutus eriteltynä viikkokohtaisesti ja pystytään, samoin kuin määräseurannassa, reagoimaan ajoissa, jos näyttää että varattu budjetti ylittyy ja kate jää liian pieneksi. (A. Kurteshi, henkilökohtainen tiedonanto 15.6.2016.)

4.4 Laskentavaiheen tunnusluvut

Rullaustien AM-AH lohkon louhintaurakan tunnuslukujen muodostuminen alkoi projektin perustamisella MAP-tarjouslaskentatyökaluun. MAP-laskennan rungon valmistuttua syötettiin laskelmaan tilaajan määräämät lähtöarvot ja suunniteltiin alustavia vaihtoehtoisia louhintamenetelmiä. Päätös käytettävistä louhintamenetelmistä muodostettiin kohteen työselostuksen, riskianalyysin, tilaajan määräämien parametrien ja työtapojen sekä empiiristen tietojen perusteella. Laskenta päätettiin jakaa käytettävien louhintamenetelmien mukaan, eli tässä tapauksessa muodostui laskelmaan viisi erillistä rakenneosaa (taulukko 2). Rakenneosiin luotiin alitehtävät tunnusluville, ja ne sidottiin määriin tilaajan määräluettelon mukaan. Tunnuslukujen summittaiset arvot saatiin nopeasti empiiristen tietojen perusteella, minkä jälkeen suoritettiin vertaileva tutkinta jokaiselle rakenneosalle.

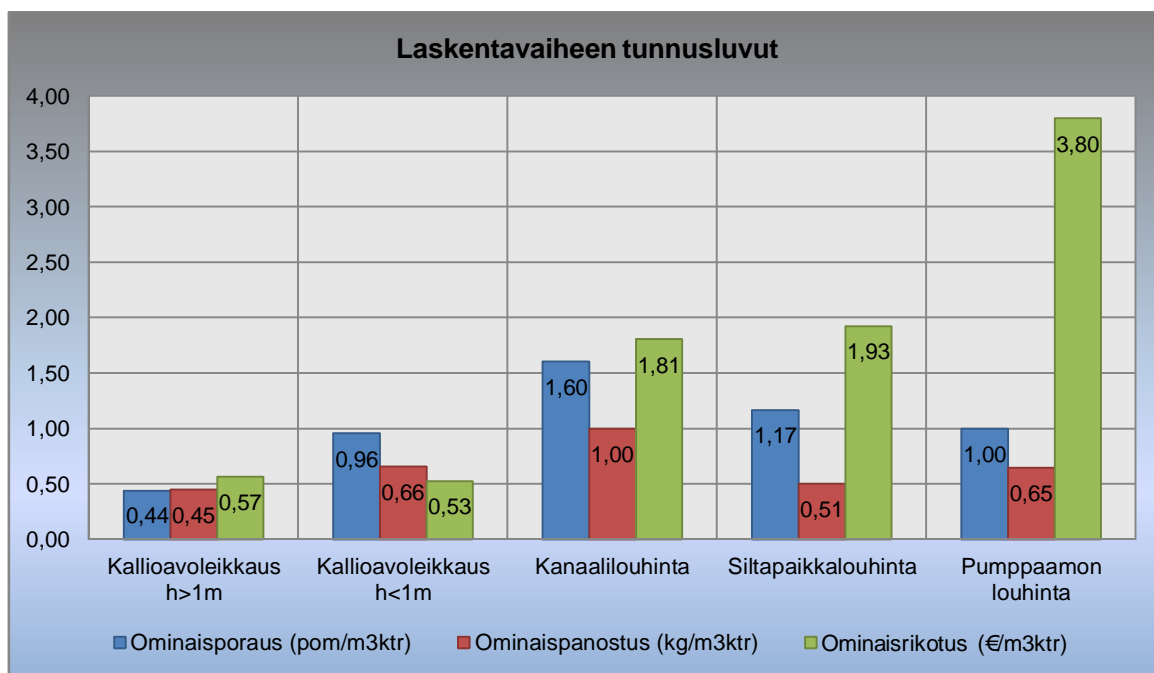
Vertailuarvot eri rakenneosien ominaisporaukselle ja -panostukselle saatiin Blastec-ohjelmalla tehdyistä teoreettisista poraus- ja panostussuunnitelmista. Blastec-laskelmaan syötettiin suoraan tilaajan määrittämät parametrit pohjatiedoiksi, ja niiden perusteella luotiin louhintasuunnitelman mukaiset kentät. Blastec muodosti jokaisesta laaditusta kentästä laskelman, josta ilmeni kyseisen

kentän tunnusluvut mm. ominaisporauksen ja -panostuksen osalta. Blastec-laskelmasta saadut tunnusluvut toimivat näin laskennan apuna ja vertailukohteenä empiiristen tietojen perusteella muodostetuille tunnusluvuille. Ominaisporauksen ja -panostuksen laskenta olisi voitu myös suorittaa käsin luvun 3 mukaisesti, mutta Blastec-ohjelmistolla tämä hoitui huomattavasti nopeammin, ja pohjatietojen muuttuessa olisi saatu uudet laskelmat välittömästi vain lukuja muuttamalla.

Ominaisrikotuksen ohjeellinen arvo muodostettiin puolestaan MAP-laskelman avulla. Laskelmaan syötettiin laskettavan rakenneosan teoreettiset kokonaiskuutiot ja määritettiin irrotuskapasiteetti määrätyn pituista työvuoroa kohden. Näiden pohjalta saatiin rikotukseen tarvittavat tunnukset kokonaisuudessaan ja muodostettiin yksikköhinta rikotukselle. Sekä yksikköhinta että irrotuskapasiteetti muodostettiin puhtaasti arvion ja empiiristen tietojen pohjalta. Syötettyjen lukujen pohjalta laskelma muodosti ominaisrikotukselle tunnusluvun. Käsin laskentaa käytettäessä laskettaisiin ominaisrikotus käytännössä samalla periaatteella kuin luvussa 3 on esitetty.

Alustavien arvojen laskennan jälkeen syvennyttiin vielä jokaisen rakenneosan erityispiirteisiin ja mahdollisiin riskeihin ennen lopullisten arvojen määrittämistä. Syventymällä louhintateknisiin vaihtoehtoihin pystyttiin muodostamaan todennukaisemmat arvot tunnusluvuille ja välttämään mahdollisia laskentavirheitä. Huomaamatta jääneet erityispiirteet saattaisivat nostaa suoraan louhinnan hintaa ja aiheuttaa ylimääräisiä riskejä. Tässä rullaustie AM-AH urakassa huomioitiin tarkasteltavien tunnuslukujen osalta riskit siten, että ominaisporaukseen siidottiin 5 prosentin määräriski ja ominaispanostukseen sekä -rikotukseen päiväkohtainen 2 tunnin tehoriiski. Rullaustie AM-AH louhintaurakalle muodostui lopulta vertailujen ja tarkasteluiden jälkeen taulukon 2 mukaiset tunnusluvut ominaisporauksien, -panostuksien ja -rikotuksien osalta.

Taulukko 2. Laskentavaiheen tunnusluvut.



Syy, miksi tunnusluvut on laskettu jokaiselle rakenneosalle erikseen, selittyy puhtaasti hinnoittelun ja riskien takia. Sitomalla jokaiselle rakenneosalle omat yksikköhintansa siirretään määräriski tilaajalle. Irrotuskuutioiden lisääntyessä esimerkiksi pumppaamon osalta, joutuu tilaaja maksamaan tarjousvaiheessa määritettyjen yksikköhintojen mukaan, jollei muuta ole sovittu.

4.5 Tuotantovaiheen tunnusluvut

Laskentavaiheen tunnusluvut toimivat pohjana tuotantovaiheen toteutukselle. Niistä nähtiin esimerkiksi, että paljonko resursseja oli varattu ja mikä oli vaadittu irrotusteho louhinnan läpiviennille. Työmaaorganisaation tehtäväksi jäi laatia ja suorittaa toteutus urakalle laskettujen resurssien mukaan. Ennen tarkempaa tuotantovaiheen suunnittelua oli työmaaorganisaation hyvä käydä laskenta läpi laskentaorganisaation kanssa. Läpikäynnillä pyrittiin minimoimaan virheet laskennassa ja varmistamaan resurssien riittävyys jo heti urakan alussa. Tavoite työmaaorganisaatiolla oli kiristää laskennan laatimia tavoitteita ja parantaa liikevoittoa korkeimpia mahdollisia laatukriteereitä noudattaen.

Tuotantovaiheen alussa arvioitiin, että tilaajan ilmoittamat kuutiomäärä jäisivät melko paljon ilmoitetusta 200 000 m³ltr. Louhintakuutioiden määrän kehitystä ja jakautumista alueella alettiin seurata jo heti alkuvaiheessa. Seurantaä päivitettiin aina viikon välein ja saatujen tulosten mukaan säädeltiin irrotustehoa. Irrotustehot haluttiin pitää heti alussa korkealla, jotta loppua kohden jäisi enemmän pelivaraa.

Päiväkohtainen irrotusteho asettui 1100 m³ltr tasolle, ja se koostui 1–5 räjäytysajankohdasta, jossa ammuttiin samanaikaisesti 1–4 eri kenttään. Jokaisesta kentästä laadittiin aina oma poraus- ja panostussuunnitelma, jossa huomioitiin mm. vaadittu lohkokoko. Kenttien koot vaihtelivat 400–4 000 m³ltr aina sen mukaan, miten ympäristö ja louhintatoleranssit sen sallivat. Pengerkorkeudet panostettavissa kentissä olivat 1 metristä 14 metriin, ja niiden kivenlaatu oli pääsääntöisesti hyvää. Poraus päätettiin suorittaa päältä lyöville kevyillä sekä keskiraskailla porausvaunuilla porausreikien asettuessa 48–70 millimetriin. Porausreiät panostettiin suunnitelmien mukaan sekä dynamiitilla että Kemix A-räjähteillä, ja sytytyksessä käytettiin tilaajan ohjeiden mukaan NONEL-menetelmää lyhyellä syttymisaikavälillä (25–50 millisekuntia).

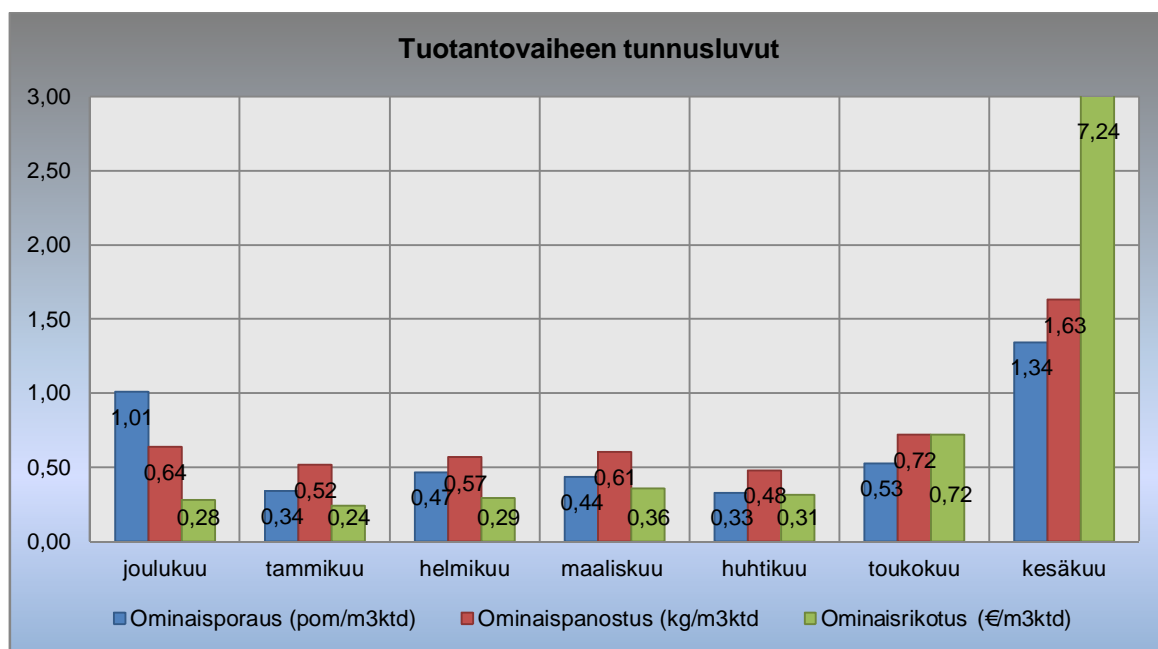
Louhintaurakan edetessä alkoi seurantaan muodostua dataa, josta saatiin tarvittavia arvoja tunnuslukujen määrittämistä varten. Irrotettujen kuutioiden todelliset määrät saatiin aina räjäytysten jälkeen, kun otettiin pinnat kiinni tarkemittauksilla. Mittausten tarkkuus oli hyvä, ja samalla saatiin tietoa kenttiin jääneistä kynsistä. Kynsien ja ylisuurten lohkojen rikotukseen käytettyjä tunteja seurattiin työmaalla päivittäin ja ne tallennettiin seurantataulukoihin. Suoritettuja parametrejä saatiin puolestaan suoraan poravaunujen tallentamista datoista, joissa ilmeni reikäkohtaisesti jokaisen reiän syvyys ja sijainti. Räjähdemateriaalit selvisivät Forcitin toimitusraporteista, joissa ilmoitettiin toimitetut räjähdemateriaalit ja niiden määrät joko kiloina tai kappaleina.

Ensimmäisten kuukausien jälkeen, kun oli saatu seurantaan tallennettua dataa, pystyttiin kehittämään louhintaa ja tekemään tarvittavia muutoksia poraus- ja panostussuunnitelmiin sekä arvioimaan paremmin lopullisia louhintamääriä. Tehdyillä muutoksilla poraus- ja panostussuunnitelmiin saavutettiin selvästi kus-

tannustehokkaampi louhintajälki ja säästettiin nimenomaan ominaisporauksessa ja -rikotuksessa.

Louhintaurakan lopullisten kustannusten muodostuttua pystyttiin määrä- ja kustannusseurantataulukoiden pohjalta laskemaan ominaisporaukselle, -panostukselle ja -rikotukselle tuotantovaiheen lopulliset tunnusluvut luvun 3 kaavojen avulla.

Taulukko 3. Tuotantovaiheen tunnusluvut.



Tuotantovaiheen tunnusluvut (taulukko 3) on muodostettu kuukausikohtaisesti tuotannon seurannan pohjalta. Seuranta erosi laskennan tavasta siten, että siinä ei seurattu muodostuneita kustannuksia louhintamenetelmittäin, vaan kaikki laadittiin pääosin samaan taulukkoon viikkokohtaisesti. Ainoastaan irtilouhittujen kuutioiden määrät olivat eriteltyinä viikkokohtaisesti eri louhintamenetelmittäin. Tämä tuotannon seurantatapa on kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa riittävä. Louhintamenetelmittäin suoritettava seuranta on toki yksityiskohtaisempi, mutta se vaatisi tuotannolta enemmän resursseja.

5 TUNNUSLUKUJEN ANALYSOINTI

5.1 Huomioitavat poikkeamat

Tulkittaessa rullaustie AM-AH louhintaurakan tunnuslukuja tulee tuntea louhintaan vaikuttavat tekijät. Tulkittaessa tuloksia tunnuslukujen osalta, on tarpeen huomioida seuraavat kohdat:

- Riskit tässä louhintaurakassa ovat laajat. Huomioitavaa on se, että käsiteltäviin tunnuslukuihin on sisällytetty vain niitä koskevat riskit, jotka ovat määrä- ja tehoriskejä.
 - Laskenta- ja tuotantovaiheen louhintamäärien erot ovat suuria, joten niitä ei voida täysin suoraan verrata toisiinsa.
 - Tulee ymmärtää tunnuslukujen suuret vaihtelut ja niiden osuus kokonaislouhintamääristä.
 - Ominaisporausta on poikkeuksena muihin tunnuslukuihin tarkasteltu euroissa (€/m³), koska se on avolouhinnassa vakiintunut käytäntö.
- Urakkaa tarkastellaan pääasiassa vain tunnuslukujen kautta, joten päätelmät ja pohdita perustuvat niiden pohjalta tehtyihin tulkintoihin.

5.2 Analysointi ja vertailu

Laskentavaiheen tunnuslukuja käydessä läpi taulukosta 2, huomataan, miten tunnusluvut ovat muodostuneet rullaustie AM-AH louhintaurakan eri louhintamenetelmien ympärille. Louhintamenetelmistä tiedetään, että normaaliin pengerlouhintaan verrattuna tasaouslouhinta, kanaalilouhinta ja tarkkuuslouhinta vaativat kaikki selvästi enemmän porausta sekä niiden räjäytystekniset vaatimukset ovat huomattavasti vaativammat.

Sekä tasaouslouhinnan että kanaalilouhinnan kohdalla varauduttiin ominaisporauksessa hieman tavallista korkeampiin arvoihin, koska tärinärajojen seurauksena voidaan kenttien panostusastetta joutua laskemaan. Panostusasteen vähen-

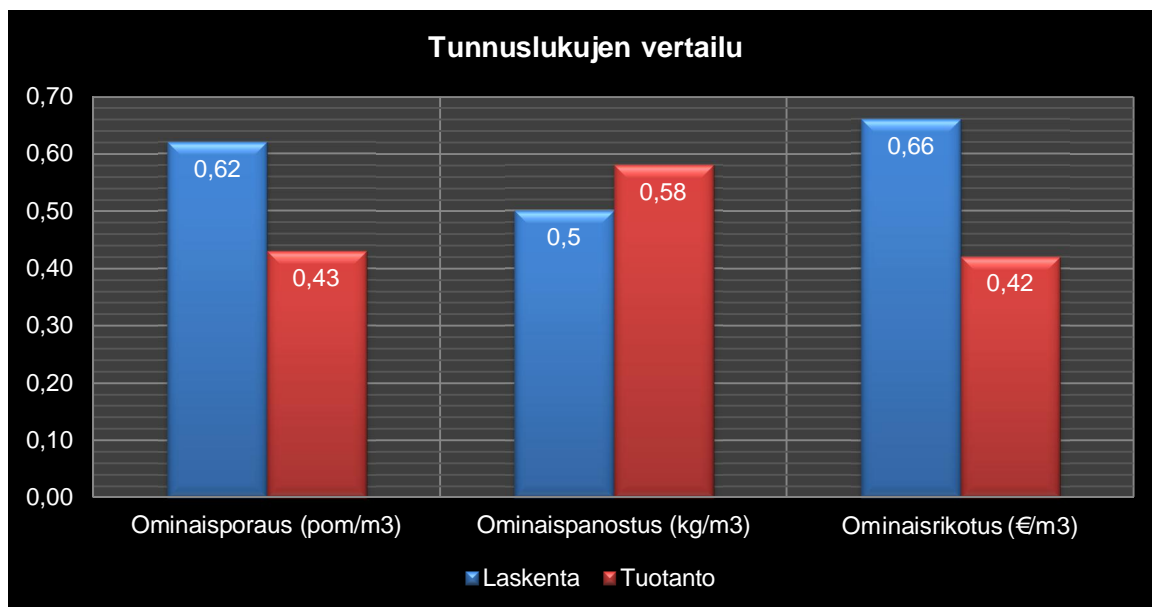
tyminen kentässä aiheuttaa vastaavanlaiset toimenpiteet kuin huono kivenlaatuakin. Porausta lisäämällä ja hyödyntämällä tarkkuuslouhintamenetelmiä saadaan irrotus toteutettua alhaisemmilla tärinäarvoilla. Siltapaikan louhintaan on puolestaan huomioitu ominaisporauksessa normaalin pystyporauksen ja avauksen vaatimien toimenpiteiden lisäksi mahdollinen jälkilouhinta, jotta sillan alittava huoltotunneli saadaan toleranssien sisään. Tämän lisäksi on huomioitu suunnitelmien mukaiset rakolinjojen poraukset sekä pysty- että vaakasuuntiin ja hyllyn vaakaporaus.

Ominaispanostuksen korkean arvon selittää se, että nämä edellä mainitut louhintamenetelmät asettavat luonnostaan ominaispanostuksen tunnusluvun korkealle tärinärajoista huolimatta. Lisäksi laskentavaiheessa on haluttu varautua siihen, että jos tärinärajat antavat myöden, voidaan ampua rohkeammin. Selvää on kuitenkin se, että louhintojen vaativuus on huomattavasti alhaisempi alueen normaaleissa pengerlouhinnoissa. Tästä syystä niissä onkin noin puolet pienemmät tunnusluvut ominaisporauksien ja -panostuksien kohdalla (taulukko 2), vaikka louhinta tapahtuu yhtä lailla lentokentän alueella.

Louhintaurakan laskentavaiheessa oli pyritty varautumaan myös riskeihin kiven huonon lohkaroitumisen ja irtoamisen suhteen. Rikotukselle oli varattu hyvin resursseja kaikkiin louhintamenetelmiin. Erityisesti pumppaamon kohdalla varauduttiin kynsiin, ja siksi siinä oli ominaisrikotus niin korkeana. Syytä on kuitenkin huomioida pumppaamon korkean tunnusluvun kohdalla, että pumppaamon louhintamäärä oli varsin pieni verrattaessa muihin urakan louhintamenetelmiin (kuvio 4). Kanaalilouhinnan kohdalla ominaispanostuksen jäädessä normaalia alhaisemmaksi ja mahdollisten porausvirheiden johdosta varattiin myös siihen hieman ylimää räisiä rikotuskustannuksia. Vastaavasti myös siltapaikalle oli varattu melko paljon rikotusresursseja, ja tämä selittyy tällä Destian toteuttamalla pilottikohteella, jossa suoritettiin irrotuslouhinta useammalla eri tekniikalla. Aikaisempaa kokemusta vastaavanlaisesta toteutuksesta ei ollut, ja siksi haluttiin siltapaikalla varautua korkeisiin rikotuskustannuksiin kynsien ja huonon lohkaroitumisen osalta.

Loppujen lopuksi laskennan keskiarvolliset tunnusluvut (taulukko 4) ominaisporaukselle, -panostukselle ja -rikotukselle asettuivat hyvin tyypillisiin arvoihin, koska kokonaislouhintamäärät kompensoivat lopullisia tuloksia melko paljon.

Taulukko 4. Tunnuslukujen vertailu laskennan ja tuotannon välillä.



Tutkittaessa tuotantovaiheen tunnuslukuja taulukon 4 perusteella huomataan, että urakan alku- ja loppuvaiheessa oli selviä poikkeamia yleiseen tasoon verrattuna. Tuotannon alkuvaiheessa yleisiä ongelmia louhinnalle aiheuttivat kovat pakkaset ja porausvaunuihin kohdistuneet rikot. Tunnusluvuista ominaisporaus oli alussa selvästi muuta tasoa korkeampaa, ja tähän syynä olivat kenttien avaukset ja koeräjäytykset sekä laskennan määrittämät varsin pienet ruutukoot ($2,2\text{--}3\text{ m}^2$). Tuotanto koki hyvin nopeasti mahdolliseksi kasvattaa ruutukokoa ja nostaa panoskokoa, sekä dynamiitin että Kemix A:n kohdalla 40mm 50mm:seen. Muutosten seurauksena panostusaste reikää kohden kasvoi, mutta kokonaisuudessa ominaispanostus kenttää kohden hieman väheni. Lisäksi ominaisporaus kenttiä kohden vähentyi huomattavasti; käytännössä se puolittui ja irrotusteho kasvoi. Ruutukoon suurentaminen kasvatti hieman heiton ja täri-
noiden määrää, mutta riittävällä etutäytteillä, täkkäysmatoilla ja hyvin suunnitelluilla sytytyskaavioilla saatiin nämä vaikutukset minimoitua.

Tuotantovaiheen tunnusluvut pysyivät alun jälkeen maltillisina eikä suurempia ongelmia ilmennyt. Helmikuussa aloitettiin siltapaikan tarkkuusloughinnat, mutta nekään eivät aiheuttaneet sen suurempia muutoksia tunnuslukuihin. Siltapaikan loughintatöihin oli varattu omat resurssit juuri sen takia, etteivät ne vaikuttaisi muiden loughintojen etenemiseen.

Loughintaurakan loppupuolella kasvoivat tunnuslukujen arvot, koska päämassat oli saatu jo irtiloughittua ja jäljellä oli enää pääasiassa kanaaliloughintaa, tasausloughintaa ja rikotusta. Loughintamääristä tasausloughintaa ja kanaaliloughintaa ilmeni enemmän kuin tuotanto oli itse alussa arvioinut, mikä osittain selittää touko-kesäkuulle jakautuneen korkean ominaispanostuksen ja -porauksen. Korkean ominaisrikotuksen urakan lopussa selittää se, että suurimmaksi osaksi kynsien rikotus, erityisesti kanaaleista, oli tietoisesti jätetty aivan urakan loppuun, koska tällöin saatiin urakan aikana pidettyä irrotustehot korkeammalla vähemmillä resursseilla.

Samoin kuin laskennan tunnusluvuissa, niin myös tuotantovaiheen tunnuslukujen vaihtelua tasoittivat kokonaisloughintamäärät ja niiden kohdistuminen pääasiassa normaaliin pengerloughintaan. Otettaessa huomioon rullaustie AM-AH loughintaurakassa käytetyt loughintamenetelmät, ei lopullisissa tunnusluvuissa ilmennyt mitään merkittäviä poikkeamia tavanomaisiin arvoihin verrattuna. Tuotannon lopulliset tunnusluvut esitetään taulukossa 4.

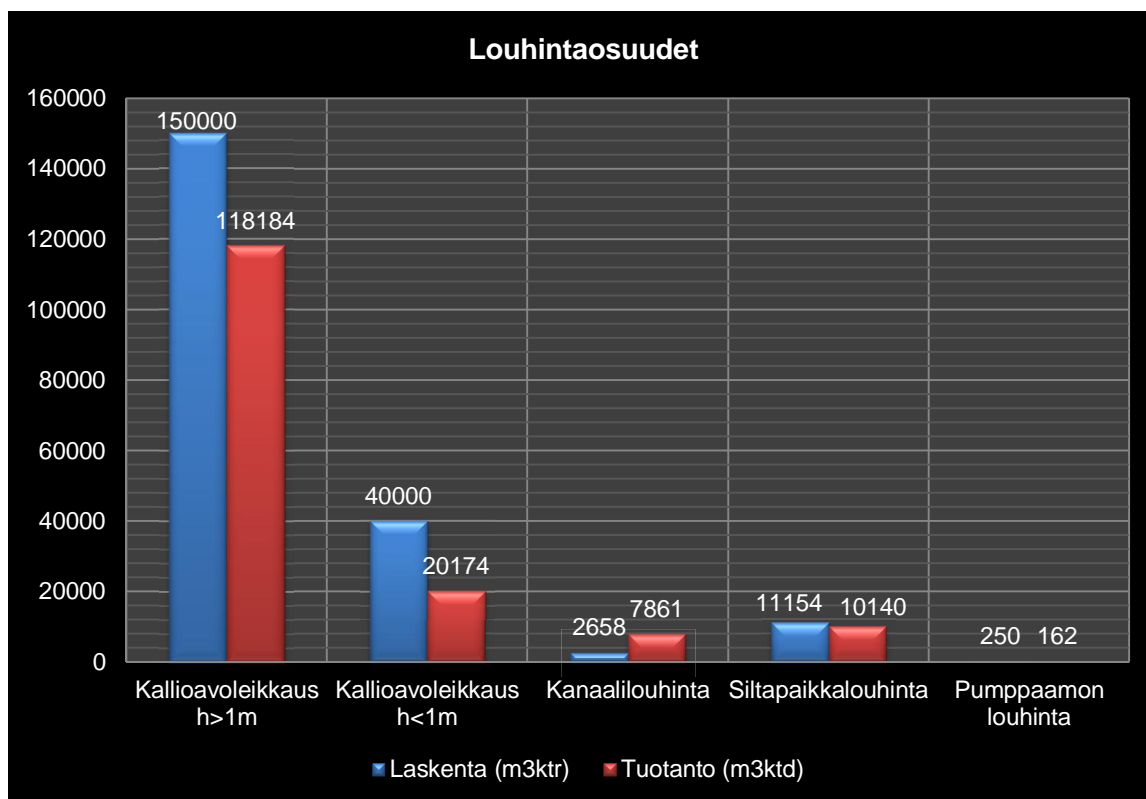
Laskennan ja tuotannon lopullisia tunnuslukuja vertailtaessa taulukosta 4 voidaan todeta, että tuotanto on onnistunut niiden osalta varsin hyvin tässä rullaustie AM-AH vaativassa loughintaurakassa. Tuotannon alhaisemman ominaisporauksen taustalla on pääasiassa ruutukoon suurentaminen laskennan määrittämästä koosta. Tämä toimenpide oli tuotannolta tässä yhteydessä hyvä ratkaisu, ja sillä saatiin tehoja lisää sekä säästettiin merkittävästi kuluissa.

Tuotannon ominaispanostus on korkeampi kuin laskennan määrittämä, mutta tähän oli osittain syynä se, että laskenta ei ollut huomioinut riittävästi räjähdeaineisiin kohdistuvaa ns. hukkaa tasausloughinnassa. Loughittaessa matalaa pengertä ($h < 1\text{m}$), oli tuotanto joutunut pidentämään ohiporausta laskennan määrit-

tämästä arvosta, jotta porareikä saatiin reilusti alle teoreettisen louhintarajan ja kenttä kerralla irrotettua suunniteltua louhintatasoa myöden. Tällä muutoksella välttyttiin esimerkiksi ylimääräisiltä lisäräjäytyksiltä ja rikotuksilta. Haittapuolena tässä toteutustavassa oli suurempi räjähdysainekulutus (hukka), korkeammat tärinät ja se, että samalla tuli irtilouhittua enemmän kuin olisi tarvinnut. Nämä ylimääräiset kuutiot nostivat suoraan louheen ajosta ja lastauksesta koituvia kustannuksia ja niitä ei voitu tilaajalta laskuttaa, koska ne eivät kuuluneet sovitun urakkaan. Kaikki lisääntyneet edellä mainitut kulut saatiin kuitenkin kompensoitua irrotustehoissa sekä poraus- että rikotuskustannuksissa. Ilman tätä tuotannon tekemää muutosta ohiporauksessa olisivat todelliset kokonaiskustannukset tasauslouhinnalle olleet selvästi korkeammat.

Laskentaa alhaisemman ominaisrikotuksen taustalla tuotannossa oli edellä mainittujen syiden lisäksi yleisesti hyvin onnistunut louhinta- ja rikotustyöt. Kivi oli tarpeeksi hyvänlaatuista, että lohkaroituminen toteutui kauttaaltaan hyvin ja kiven laadun vaihdellessa reagoitiin välittömästi tekemällä tarvittavat muutokset poraus- ja panostussuunnitelmin. Toinen merkittävä tekijä oli tehokkaasti työskennellyt rikotuskone. Koneen kuljettaja oli kokenut ja pysyi hyvin vaadituissa tehoissa. Tehokkuuden ansiosta rikotukseen ei tarvinnut lisätä resursseja, vaikka työmaan johtoa kehoitettiin useasti näin tekemään. Louhintaurakan rikotustarpeita ilmeni kauttaaltaan joka puolella, mutta eritoten ne kohdistuivat kanaaleihin, joissa muodostui paljon oletettua enemmän kynsiä.

Taulukko 5. Louhintaosuuksien erot laskennan ja tuotannon välillä.



Lopullisten louhintakuutioiden jakautuminen ja ero laskennan ja tuotannon välillä näkyvät taulukosta 5. Tuotannon tekemä arvio louhintamäärästä urakan alussa kävi toteen. Louhintamäärät jäivät tilaajan ilmoittamasta arviosta paljon, lähes neljänneksen. Selvästi alle laskentavaiheen määrien jäi normaali pengerlouhinta ja tasauslouhinta. Yllätyksenä puolestaan kanaalilouhintaa ilmeni huomattavasti enemmän kuin mitä tilaajan toimesta oli ilmoitettu. Kanaalien keskisyvyudet osoittautuivat syvemmiksi, ja mikä nosti irtilouhittavien kuutioiden määrää ja sitä kautta myös tarkasteltavia tunnuslukuja.

Puolivälissä louhintaurakkaa arveltiin lopullisten määrien jäävän vieläkin enemmän toteutuksen alussa arvioidusta määrästä, mutta lisälouhintoja ilmeni kuitenkin urakan loppupuolella sen verran, että niiden ansiosta saatiin hieman lisää kuutioita irti alueelta. Kokonaisuudessaan rullaustie AM-AH louhintaurakka sisälsi kuutioita 156 521.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Yhdenmukaisempi laskenta- ja tuotantovaiheen seuranta. Tämän työn tunnuslukujen tulkintojen ja analysoinnin perustuessa pitkälti taulukoihin (2-5) jäi toteutusvaiheen tulkinta melko kapeaksi, kun käsiteltiin tuotannon tunnuslukuja vain kuukausikohtaisesti. Haastattelujen ansiosta selvisi kuitenkin tärkeitä louhintamenetelmäkohtaisia tietoja suoritteista, mm. että kanaaleihin muodostui paljon odotettua enemmän kynsiä ja merkittävä osa rikotusresursseista kohdistui juuri niihin. Ilman haastatteluiden tuomaa lisäarvoa olisi tunnuslukujen tulkinta ollut näiltä osin puutteellinen. Jotta jatkossa pystyttäisiin varmistamaan, että seurannasta ilmenisi suoraan mahdollisimman tarkkaan, mihin eri louhintamenetelmiin tarkasteltavat resurssit kohdistuvat ja saataisiin jatkossa entistäkin tarkemmat tunnusluvut, niin olisi järkevä tavoite pyrkiä yhdenmukaistamaan laskenta- ja tuotantovaiheen toimintaa laadittujen ja seurattavien resurssien osalta. Tällä yhdenmukaistamisella olisi tavoitteena vähentää laskenta- ja tuotantovaiheen välistä kuilua sekä yhtenäistää ja kehittää molempien toimintaa.

Louhintamenetelmittäin kohdistettu resurssien seuranta. Työn aikana tehtyjen haastatteluiden pohjalta kävi ilmi, että laskentavaiheen tapa laatia resurssit eri louhintamenetelmittäin ei tuotantovaiheessa ole vielä toteutettavissa. Tuotantovaiheessa tehtävä kustannusseuranta eri louhintamenetelmittäin vaatisi huomattavasti enemmän resursseja nykyisillä toteutustavoilla. Tämä seuranta-tapa olisi kuitenkin varsin tarpeellista tarjouslaskennan kannalta, koska siinä nähtäisiin yksityiskohtaisesti resurssit ja tunnusluvut eri louhintamenetelmittäin.

Laskenta- ja projektinhallintatyökalu C7. Tällä uudella laskenta- ja projektinhallintatyökalulla voi olla vastaus näihin edellä havaittuihin puutteisiin. Ohjelman käytöstä tulisi kuitenkin selvittää, että miten toimiva on siinä oleva ominaisuus, jossa voidaan luoda jo laskentavaiheessa työnumerot koko projektin ajaksi jokaiselle resurssille. Säilyvätkö nämä luodut työnumerot läpi koko urakan, jolloin ainakin teoriassa olisi mahdollista kohdistaa tuotantovaiheessa kustannukset suoraan laskentavaiheessa luotuihin työnumeroihin resursseittain. Näin ollen kustannukset muodostuisivat tuotantovaiheessa eri louhintamenetelmien alle

suoraan, jolloin saataisiin jo toteutuksen aikana tietää kustannusten jakauma ja jälkilaskennan toteutus olisi huomattavasti tehokkaampaa. Jos edellä mainittu toiminto C7-ohjelman puolesta olisi mahdollista, ainut kysymys tässä kohtaa enää olisi, miten monipuolisesti pystytään tietoja syöttämään näiden luotujen työnumeroiden alle. Saadaanko sinne kohdistettua eri materiaalimenekit ja kustannukset, kuten esimerkiksi räjähdettäineet, porametrit ym?

Se, miksi tässä työssä haluttiin selvittää juuri nämä louhinnan tunnusluvut (luku 3), perustuivat siihen, että ne ovat tärkeimpiä lukuja louhinnan osalta yhdessä irrotuskapasiteetin kanssa ja niiden antama tieto on todella tärkeää uusien urakoita laskiessa. Tämän työn aikana vahvistu ajatus, osittain tilaajan toiveesta, laatia täysin uusi tietopohjamalli louhintaurakasta syntyville luvuille.

Uusi tietopohjamalli. Tämän kehitteillä olevan tietopohjamallin eli ns. työmaan ID-kortin ajatus on esittää toteutuneen louhintaurakan tärkeimmät luvut ja tiedot yksinkertaisesti ja helposti ymmärrettävässä muodossa. Tällä hetkellä yksi ongelma on se, että dataa tallennetaan toteutuneista urakoista, mutta niitä ei juuri analysoida tai koota mitenkään helposti ymmärrettävään tai yksinkertaiseen muotoon. Kerätty data on tallennettu käyttäjästä riippuen aina eri tavalla, ja täten sen tulkinta ulkopuolisen silmin saattaa paikoittain olla vaikeaa. Siksi halutaan koota tärkeimmät informaatiot samalle pohjalle, josta niitä voidaan tarpeen vaatiessa tarkastella. Näissä ID-korteissa on kaikissa sama yksinkertainen pohja, johon tiedot täytetään, ja ne muodostavat jatkossa yhtenäisen tietokannan eri louhintaurakoiden osalta. Niitä voidaan myös hyödyntää vertailukohteena uusien urakoita laskiessa. Yksi ID-korttien etu on juuri siinä, että niiden kontrolloitu jakaminen kallioyksikössä lisäisi kaikkien tietoutta ja helpottaisi projekteilla olevia mahdollisissa laskennoissa. Työmaan ID-korttien hyödyntämisen ei tulisi rajoittua pelkästään kallioyksikön käyttöön, vaan niitä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi tilanteissa, jossa talon sisällä jokin muu yksikkö tarvitsee pienemmälle louhinnalle tarjousta tai hinta-arviota eikä kallioyksikkö kiireiden puolesta sitä pysty antamaan. Tällöin kallioyksikkö voisi luovuttaa tarvittavan ID-kortin toisen yksikön käyttöön, jolloin heillä olisi paremmat valmiudet laatia ja kilpailuttaa tarjouspyynnöt talon ulkopuolisille urakoitsijoille.

Alustava ID-korttipohja pitää sisällään urakkaa kuvaavia yleisiä ja yksityiskoh-
taisia tietoja sekä kustannuksia. Näitä yleisiä tietoja ovat mm. urakan laajuus ja
urakka-aika. Kustannuksista näkyy kokonaishinnan ja kuutiokohtaisen irrotus-
hinnan lisäksi eriteltynä yksikköhintoineen mm. toteutusresurssit. Työmaa ID-
kortin yksi tärkeimmistä tiedoista laskennan kannalta ovat sen alareunasta löy-
tyvät käsitteet, ja nämä ovat päiväkohtainen irrotuskapasiteetti, ominaispanos-
tus, -porausta ja -rikotus.

Liitteenä 3 löytyy tämän työn aikana luotu rullaustie AM-AH louhintaurakan ID-
kortti, johon on täytetty kaikki kohdat hintoja lukuun ottamatta. Tässä työssä
analysoidut tuotannon lopulliset tunnusluvut löytyvät myös kortista täytettynä.

LÄHTEET

Asematason allianssin. 2016. Sisäinen aineisto. Destia Oy.

Destia Oy 2016. Toimivampi maailma. Viitattu 18.7.2016 <http://www.destia.fi/yritys.html>.

Finavia 2016. Helsinki-Vantaa kehitysohjelma. Viitattu 9.6.2016 <http://www.finavia.fi/fi/lentoasemat-kehittyvat/helsinki-vantaa/>.

Hakapää, A & Lappalainen, P. 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Jääskeläinen, R. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. 1. painos. Porvoo: Tammer-tekniikka / Amk -Kustannus Oy.

Olofsson, O.S. 1997. Applied explosives technology for construction and mining. Sweden: Ljungföretagen, Örebro.

Projektin työmaaopas. 2015. Sisäinen aineisto. Destia Oy.

Sandvik 2016. Surface tophammer drill rigs. Viitattu 1.7.2016 <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>.

Siren, T. 2015. Turun ammattikorkeakoulu. Kalliorakentaminen -kurssi. Kurssiaineisto.

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Konserni 54/2015. Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Viitattu 27.4.2016 https://www.tem.fi/files/44123/TEMjul_54_2015_web_28102015.pdf.

Vuolio, R. 2008. Räjätysopas. 3. laajennettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Vuolio, R & Halonen, T. 2012. Räjätystyöt. Päivitetty 2. painos. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Vuorimiesyhdistys-Bergsmannaföreningen r.y. 1982. Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja. Hango: Hangon kirjapaino Oy

Liite 2. Ote rullaustie AM-AH louhintaurakan MAP-laskelmasta

DESTIA

PL73

00521 Helsinki

DESTIA Oy

Proj.tunn.

2015

Projektin nimi

Laskelma

Kuvaus

2015

Lentokenttä, Louhinta AM-AH_18.11_penger korke.

2015

Työkustannukset

Työnumero / Rakennosa

Päiväys 3.12.2015

Alka

13:49

Siwu

1(3)

Val.

EUR

Nimike	Koodi	Määrä	Maksuper.	Hiljyö	AH kone	Oma kone	Kuul./km	Mtrl	Alur.	Sis.alur.	Muut	Yhteensä
Työkustannukset												
Louhinta												
	1000											
Louhinta												
	1001											
Kallioavoleikkaus h>1m (h=1,5-2m) (kenttä ruutukoko 3m2)												
	1											
Irrutus ja rikotus												
Poraus 64mm	AH	Alur.			0.44	1.05			69300 m			
Painostus auto	HE	Hiljyö			2			2000	rv10			
Aputyö	HE	Hiljyö			2			2000	rv10			
Rikotus	AH	AH kone			2			2000	rv12			
Täikkäys	AH	AH kone			2			2000	rv12			
Fordyn	AT	Mtrl			0.45				67500 ks			
Naili MS 500 4,8 m	AT	Mtrl			0.27				40500 kpl			
Hidasteet	AT	Mtrl			0.27				40500 kpl			
Forciti palvelut	AH	Alur./h						2000	pv			
Kallioavoleikkaus h<1m kenttäkoko (2,2m2)												
	2											
Irrutus ja rikotus												
Poraus 64mm	AH	Alur.			0.96	1.05			40320 m			
Painostus auto	HE	Hiljyö			2			1800	rv10			
Aputyö	HE	Hiljyö			2			1800	rv10			
Rikotus	AH	AH kone						1800	rv10			
Täikkäys	AH	AH kone			2			1800	rv10			
Fordyn	AT	Mtrl			0.66				26400 ks			
Naili MS 500 4,8 m	AT	Mtrl			0.50				20000 kpl			
Hidasteet	AT	Mtrl			0.50				20000 kpl			
Määrät annant												

Käsitteijä

Laskelmaavastava

Hinnoteilut

Projektavastava

DESTIA

Liite 3. Rullaustie AM-AH louhintaurakan ID-kortti

Työmaa ID -kortti Lentokenttä rullaustie AM-AH 2016				
TOTEUTUNUT				
Resurssit	Määrä	Yksikkö	€/yks.	Yhteensä
<u>Louhintamäärä</u>	156 521	m3ktd		
<u>Louhinta-aika</u>	145	pv		
<u>Varottava etäisyys</u>	200	m		
<u>Sallittu max. kiihtyvyys</u>	1,00	g		
<u>Sallittu max. heilahdus (100m)</u>	17,00	mm/s		
<u>Räjähteet</u>				
Kokonaisräjähdysainemäärä	85 986	kg		€
Nallit ja hidasteet	44 852	kpl		€
<u>Toteutusresurssit</u>				
Poraus	66 921	pom		€
Panostus	4 636	h		€
Täkkäys	842	h		€
Rikotus	689	h		
KKH	629	h		€
Forcit palvelut	47	pv		€
Työnjohto (TP, TMP ja TJ/TMI)	7	kk		€
<u>Muut</u>				
Majoitus, louhintavakuutus ym.				€
Yhteensä				€
Yksikköhinta (ilman lisäkustannuksia)				€/m3ktd
Lisäkustannukset (kate, riskit ym.)				€
Kokonaishinta (ALV 0 %)				€
<u>Yksikköhinta (sis. lisäkustannukset)</u>				€/m3ktd
<u>Kapasiteetti</u>			1 080	m3ktd/pv
<u>Ominaispanostus</u>			0,58	kg/m3ktd
<u>Ominaisporaus</u>			0,43	pom/m3ktd
<u>Ominaisrikotus</u>			0,42	€/m3ktd
<u>Työn / työvaiheen kuvaus:</u> Louhinnat haastavassa lentokenttäympäristössä. Penger-, tasaus-, kanaali- ja tarkkuuslouhintaa.				
<u>Toteutusaikataulu:</u> 50/2015 - 30/2016				
<u>Toteutus- ja tärinäolosuhteet:</u> Ympäristössä useita tärinäherkkiä kohteita. Tärinähaittavaikutusalue 300 metriä.				
<u>Analyysi toteutuneiden ja laskettujen kustannusten eroon vaikuttaneista tekijöistä:</u> Vähäisempi louhintamäärä, lisä- ja muutostyöt, odotettua syvempiä kanaaleita, ruutukoon kasvattaminen, neliölouhinnasta aiheutunut yllilouhinta (hukka) ja omien poravaunujen käyttö oletettua suurempi.				
<u>Tulevissa tarjous/toteutusprojekteissa huomioon otettavia asioita:</u> Kiinnitettävä enemmän huomiota neliölouhinnan yllilouhinta -osuuteen ja kanaalilouhintojen syvyyssietoihin				